

Univerza  
v Ljubljani  
Fakulteta  
za gradbeništvo  
in geodezijo



Hidravlično inženirstvo & Vodno gospodarstvo

# HIDROTEHNIKA

*Vodne zgradbe I*

**Franci STEINMAN**  
**Primož BANOVEC**

**Ljubljana, 2008**



# KAZALO

<b>UVOD</b>	<b>1</b>
<b>1. VODNO GOSPODARSTVO</b>	<b>1</b>
1.1 Osnovni pojmi	1
1.2 Pojavne oblike vode	2
1.2.1 Tekoče vode	3
1.2.2 Stojee vode	4
1.2.3 Podzemne vode	4
1.3 Naravne danosti - Vode v slovenskem prostoru	5
1.4 Osnove vodnogospodarskega naertovanja	11
1.4.1 Vodnogospodarske količine	12
1.4.2 Zadrževanje voda	13
1.4.3 Naloge vodnogospodarskega naertovanja	15
1.4.4 Kakovost voda	17
<b>2. SPECIFIČNOST HIDROTEHNIČNIH OBJEKTOV</b>	<b>1</b>
2.1 Splošno	1
2.2 Zajezne zgradbe	2
2.3 Zemeljske pregrade	12
2.4 Betonske pregrade	14
<b>3. NAČRTOVANJE PREGRAD</b>	<b>1</b>
3.1 Naertovanje zemeljskih pregrad	1
3.1.1 Vrste in lastnosti materialov primernih za zemeljske pregrade	1
3.1.2 Strižna odpornost zemljine	3
3.1.3 Komprimiranje zemljine	4
3.1.4 Osnovna načela projektiranja zemeljskih pregrad	5
3.1.5 Materiali in gradnja	5
3.1.6 Načini gradnje zemeljskih pregrad	6
3.1.7 Presoja vodotesnosti	8
3.1.8 Ureditev filtrov	10
3.1.9 Dimenzioniranje drenaž	10
3.1.10 Presoja stabilnosti in napetosti v zemeljskih pregradah	11
3.1.10.1 Dokaz stabilnosti - (drsine v zemeljski pregradi)	11
3.1.10.2 Ostale presoje (kontrolne)	12
3.1.11 Praktični primeri	15
3.2 Naertovanje betonskih pregrad	21
3.2.1 Obtežba	21
3.2.1.1 Osnovna obtežba	22
3.2.1.2 Dodatna obtežba	24
3.2.1.3 Posebna obtežba	26
3.2.1.4 Kombinacija obtežnih primerov	28
3.2.2 Analiza stabilnosti težnostnih pregrad	30
3.2.2.1 Rotacija pregrade	30
3.2.2.2 Kontrola zdrsa	30
3.2.2.3 Analiza napetosti – gravitacijska metoda	34
3.2.3 Oblikovanje težnostne pregrade	36
3.2.4 Stabilizacija in nadvišanje	41
3.3 Steberske pregrade	44
3.4 Ločne pregrade	48
3.4.1 Splošna teorija ločnih pregrad	51
3.4.2 Obtežba na ločne pregrade	52
3.4.3 Porazdelitev napetosti v ločnih pregradah	53
3.4.4 Naertovanje ločnih pregrad	54

<b>4. KONSTRUKCIJSKE REŠITVE PRI GRADNJI PREGRAD</b>	<b>1</b>
4.1 Uvod	1
4.2 Ojačitveno in tesnilno injektiranje	1
4.3 Drenaže za zmanjšanje vzgona	2
4.4 Ureditev telesa pregrade	3
4.4.1 Načrtovanje in izvedba gradnje pregrade	3
4.4.2 Sloji v betonski pregradi	5
4.4.3 Medmonolitni, konstrukcijski stiki	5
4.4.4 Prenos obtežbe in kontinuiteta	6
4.4.5 Kontrolne galerije	6
4.5 Objekti na pregradah	6
4.5.1 Evakuacija vode v času gradnje	7
4.5.2 Objekti za zajem in odvajanje vode	10
4.5.2.1 Objekti za odvzem vode	11
4.5.2.2 Objekti za odvajanje viškov vode	18
4.5.3 Objekti za disipacijo energije	23
4.5.3.1 Podslapje	25
4.6 Opazovanje pregrad	26
<b>5. IZBOR LOKACIJE IN VRSTE AKUMULACIJE TER TIPA PREGRADE</b>	<b>1</b>
5.1 Ocena lokacije pregrade	2
5.2 Izbor vrste pregrade	2
<b>6. VPLIV PREGRAD NA OKOLJE</b>	<b>1</b>
6.1 Postopek presoje vpliva na okolje	3
6.2 Presoja vplivov na okolje	4
6.3 Urejanje medsebojnih razmerij med porabniki	10
6.4 Spremljanje stanja (monitoring)	



## Uvod

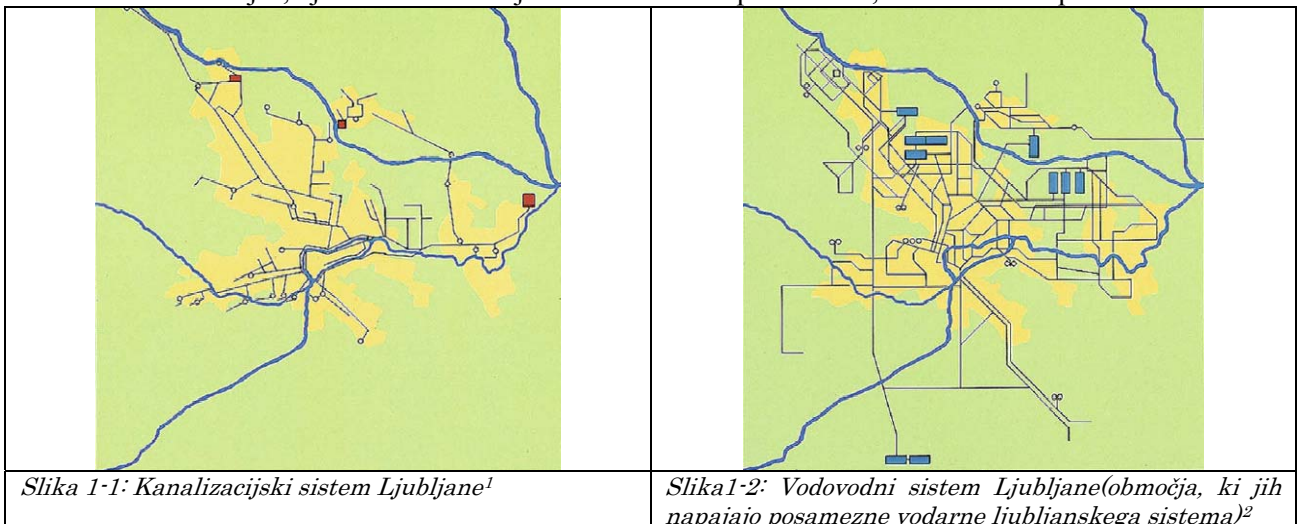
Hidrotehnika zajema vse dejavnosti, ki so povezane z vodami, torej tehniko in tehnologijo urejanja in varovanja vodnega okolja in gospodarjenje z vodami, ki omogoča smotrno rabo in izrabo voda. Zajema različne dejavnosti, zato je znanih več področij dela, ki obsegajo načrtovanje, izgradnjo in vzdrževanje hidrotehničnih objektov in sistemov, ter ureditev in rabo voda (oz. prostora). Navadno delimo hidrotehnične dejavnosti glede na namembnost objektov in ureditev, vendar moramo biti pozorni tudi na to, da so objekti in ureditve v večini primerov že večnamenski.

Oskrbovanje naselij z vodo in zbiranje voda iz naselij (krajše vodovod in kanalizacija) obsega oskrbovanje stanovalcev in industrije z vodo in odvajanje odpadne (uporabljene) vode. To področje obravnava "komunalna hidrotehnika", ker je to povezano s splošno skupno potrebo po vodi. S tem področjem hidrotehnike je povezan pojem "zdravstvena hidrotehnika", ki obsega raziskovanja in proučevanja, tehnične rešitve in zagotavljanje kontrole kvalitete voda za zaščito zdravja prebivalcev. Voda za preskrbo naselij s pitno vodo mora zadovoljiti predpisane pogoje, zbrana voda iz kanalizacije pa se mora pred izpustom v odvodnik prečistiti, drugače bi onesnažila odvodnik (vodotok) in s tem vodno okolje.

Voda za vodovod se zajema navadno iz površinskih tokov: rek in jezer (ponekod tudi iz umetnih jezer, zgrajenih zaradi oskrbovanja z vodo) ali iz podzemlja, redkeje pa iz zbiralnika deževnice (ti. kapnica). Zajeta voda se lahko težnostno po mreži cevovodov napelje do potrošnikov, če so potrošniki na višji koti od zajetja, se voda dovaja s pomočjo črpale, črpališča pa so sestavni deli vodovodnega sistema. Tu so pomembni še vodohrani (rezervoarji vode), za obdobja največje potrošnje vode. Zajeta voda danes običajno ni dovolj dobre kvalitete, zato jo moramo predhodno prečistiti v čistilnih napravah za pitno vodo.

Uporabljeno vodo iz naselij in iz industrije zbira kanalizacijska mreža, po kateri se voda odvaža v reko, jezero ali morje, v redkih primerih kjer ni odvodnikov pa ponika v zemljo. Od položaja glavnega odvodnika je odvisno, ali je potrebno tudi odpadne vode prečrpavati. Ker se odpadne vode ne morejo spuščati neposredno v odvodnik (recipient), je potrebno zgraditi objekt za čiščenje (čistilno napravo za odpadne vode).

V kanalizacijske sisteme doteka poleg odpadnih voda iz domov in industrije še deževnica s streh, ulic in ostalih površin v naselju. Za deževnico se lahko v primerih, ko ločimo odpadne in padavinske vode, zgradita ločeni mreži, (odtod pojem "Meteorna kanalizacija"). Za naše razmere pa je značilna ureditev ti. "Mešane kanalizacije", kjer v istem omrežju zbiramo tako odpadne vode, kot tudi odtok padavin.



Z izboljšanjem vodnih razmer na kmetijskih površinah se ukvarja ti. "Kmetijska hidrotehnika". Znano je, da izboljšanje vodo-zračnega režima tal bistveno pripomore k izboljšanju kmetijske (poljedelske) proizvodnje, pri nekaterih kulturah celo bolj, kot za okolje nesprejemljivo prekomerno gnojenje.

<sup>1</sup> Vir: seminar

<sup>2</sup> Vir: seminar

Osnovni dejavnosti sta namakanje in osuševanje kmetijskih površin, ki pa predstavljata neločljivo celoto, saj en sam ukrep običajno ni zadosten.

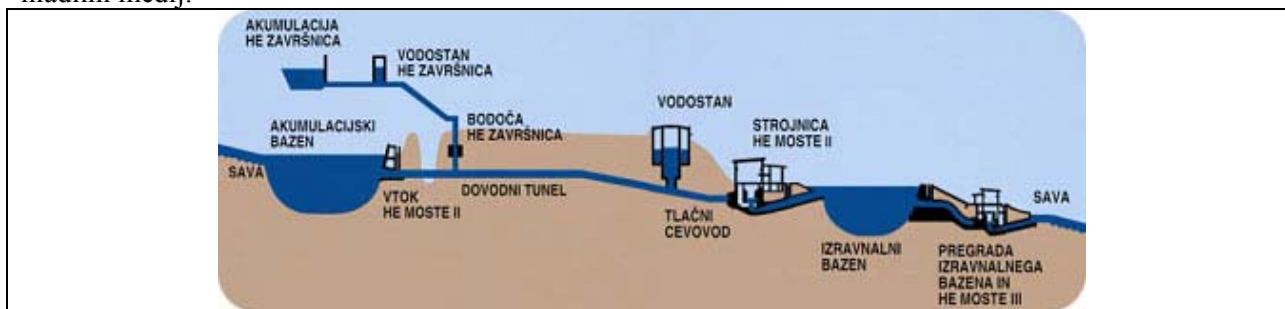
Obramba pred škodljivim delovanjem voda (poplave, erozija, zdrsi pogojno stabilnih zemljišč) obsega gradbene ukrepe (tj. povezane z izgradnjo objektov - nasipi ob reki, zadrževalniki, pomožna korita (bypass, npr. Gruberjev kanal v Ljubljani, ipd.), in ne-gradbene ukrepe, ki obsegajo predvsem preventivne ukrepe, kot so npr. smotrna raba prostora, torej take, s katerimi preprečujemo prekomerne škode ob nastopu visokih voda.

Urejanje vodnega okolja obsega vse ukrepe, s katerim posegamo v vodno okolje, da bi dosegli zaželeno stanje. Ukrepe lahko delimo v tri skupine:

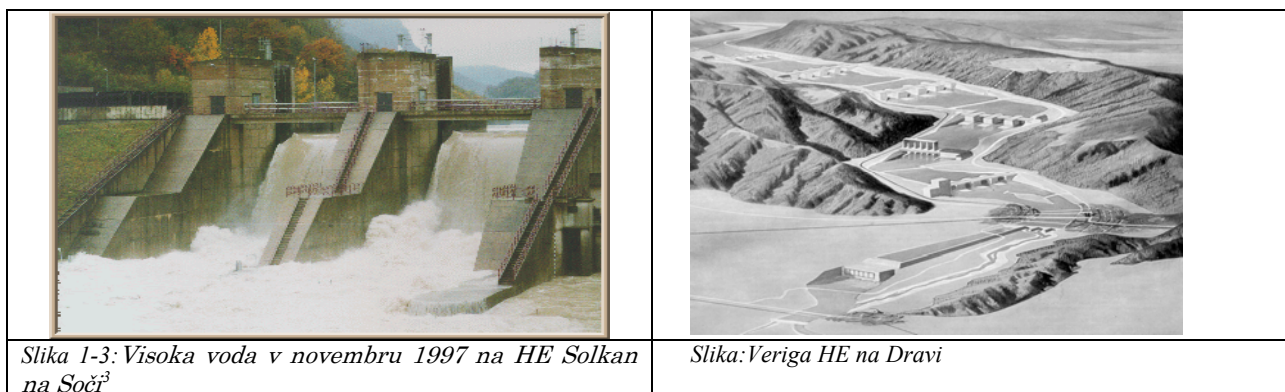
- **sanacijski ukrepi:** v primerih, ko se, zaradi neugodnih učinkov, ki jih povzročajo druge dejavnosti v prostoru, spreminja vodno okolje v taki meri, da se kažejo znaki neurejenosti in nestabilnosti v hidrotehniškem pogledu oz. ogroženosti več vrstnosti in vitalnosti vodnega oz. obvodnega biotopa.
- **nadomestni (izravnalni, kompenzacijski) ukrepi:** v primerih, ko ni možna neposredna sanacija, se s posebnimi ureditvami nadomestijo prvotne funkcije na drugih (nadomestnih) lokacijah, da bi izravnali neugodne posledice posegov v vodno okolje.
- **obogatitveni ukrepi:** v primerih, ko s predvidenimi ukrepi ustvarjamo nove elemente v krajini (nove vodne in obvodne površine, ipd.).

Zaradi človekovih dejavnosti se pogosto pojavi pospeševanje odtoka voda (npr. asfaltiranje površin ipd.). Hkrati so padavine razporejene neenakomerno po času in po prostoru, poraba vode pa ima svojo dinamiko. Zato je pomembno tudi časovno prerazporejanje voda, oz. zadrževanje odtoka. Tu je eno od osnovnih načel zadrževanje voda na mestu nastajanja odtoka. S tem po eni strani preprečimo (oz. omilimo) posledice delovanja visokih voda, saj zmanjšujemo konice visokih voda, in se dolvodno pojavi že zmanjšani pretok. Temu služi predvsem urejanje povirij, zmanjševanje neprepustnih površin (asfaltiranje, pozidava, ipd.) in pogozdovanje golih predelov, ter primerna raba kmetijskih površin. Po drugi strani pa s tako zadržano vodo obogatimo nizke vode v sušnem obdobju.

Za izkoriščanje vodnih moči so se razvile številne ti. vodosilne naprave. Danes je to pretežno področje "hidroenergetike", pri čemer mislimo na proizvodnjo električne energije z izkoriščanjem voda v hidroelektrarnah (hydrocentralah). Zavedati pa se moramo, da praktično ni proizvodnje energije brez znatnih količin voda (termoelektrarne - premog, plin, jedrska), kjer voda služi kot ogrevalni medij oz. kot hladilni medij.



Slika 1-2: Hidroelektrarna Moste

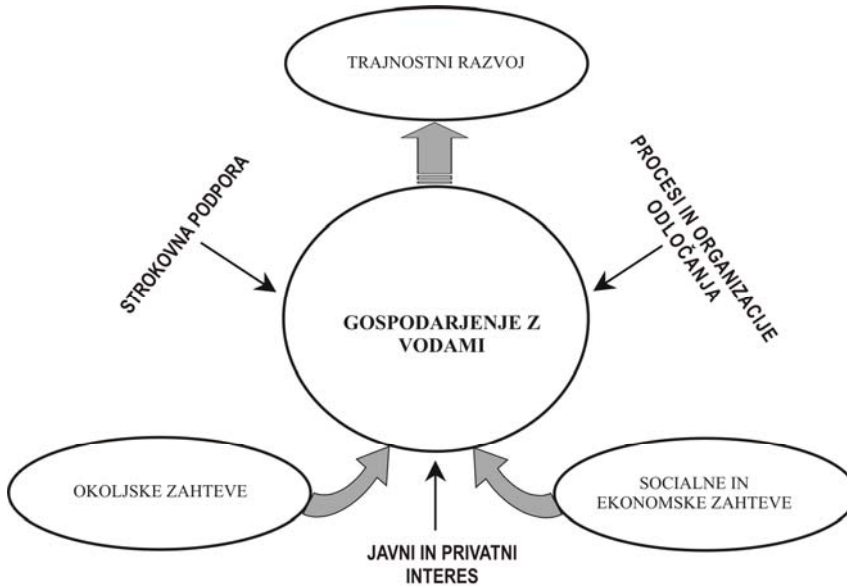


Slika 1-3: Visoka voda v novembru 1997 na HE Solkan na Soči<sup>3</sup>

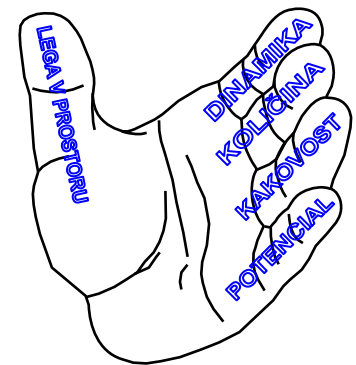
Slika: Veriga HE na Dravi

<sup>3</sup> ( Internet: <http://193.77.110.133/S/predst/KdoVodi.html-l2>)

V ostale hidrotehnične dejavnosti spada gradnja in upravljanje z objekti in sistemi za turizem, šport in rekreacijo. Tu mislimo na izgradnjo umetnih jezer in izboljševanje tistih, ki imajo sicer druge osnovne namene, za kopanje, plavanje, veslanje in jadrnanje, kot športni bazeni, zajetja in izpusti zdravilnih in termalnih voda in njihovo izkoriščanje. Tu lahko štejemo tudi regulirana zajetja v potokih in rekah, dela za olepševanje okolice, ipd. Pomembni so tudi ribniki, ki se gradijo kot posebni objekti z dovodom in odvodom vode, da omogočimo vzgojo in rejo rib v naravnih in umetnih vodnih tokovih.



Slika 1-3: Vpliv zunanjih parametrov v procesu gospodarjenja z vodami



Slika 1-4: Vrste potencialov vode

Družbe, ki dosežejo dovolj visoko stopnjo organiziranosti, so zmožne organizirati razvito vodno gospodarstvo, z značilnimi večnamenskimi objekti. Voda, ki je omejen naravni vir, je v takih urejenih razmerah na razpolago oz. se uporablja v tistih dejavnostih, ki so v naprej določene s prioritetaми rabe. Te prioritete pa določa družba preko svojih sistemov odločanja, pri čemer upošteva rezultate optimizacije zelo različnih, parcialnih ciljev, ki izvirajo iz razvojnih ciljev družbe na eni strani in ciljev varovanja naravne in kulturne dediščine. Poseben pomen ima tudi področje rabe in izrabe voda. Kot rabo voda pojmuje tisto rabo, ki izkorišča eno ali več oblik potencialov voda (glej sliko), kot izrabo voda pa tako rabo, pri kateri voda odhaja iz vodnih sistemov v atmosfero. Tipičen primer izrabe voda je npr. voda v hladilnih stolpih oz. voda za namakanje, kjer voda izpareva.

Vpliv Vodnega gospodarstva na rabo in izrabo voda je le posreden. Spodbujanje smotrne rabe voda (spreminjanje tehnologij v industriji, večkratna raba, recirkulacija, ipd.) je možno pogojevati predvsem preko izdaje vodnogospodarskih soglasij, ter zakonodaje in drugih restriktivnih in stimulacijskih ukrepov. Skrb za vodo, kot omejen naravni vir in življenjsko nujnost, pa je porazdeljena na celotno družbo oz. na različna področja človekovega delovanja.

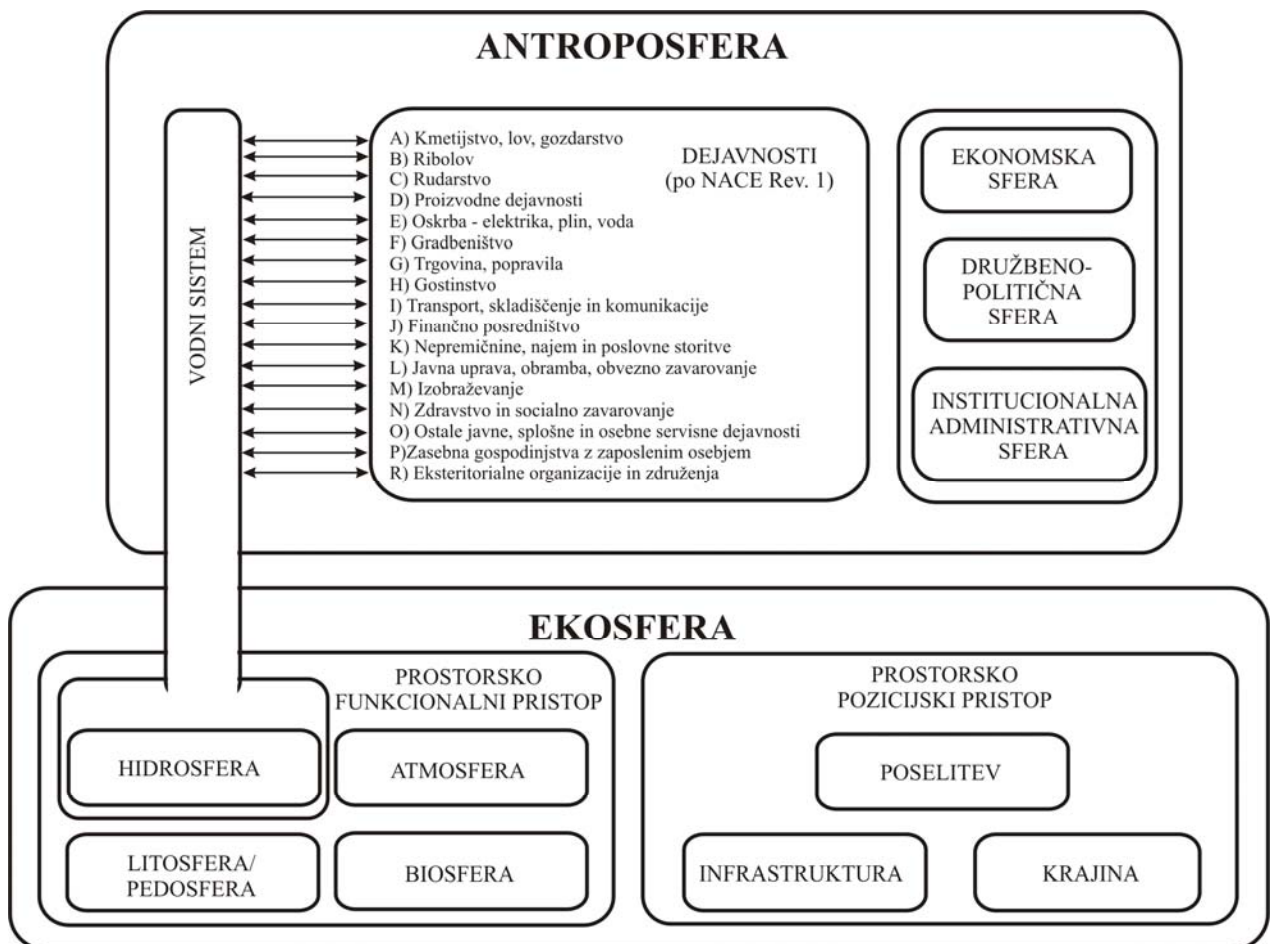


# 1. VODNO GOSPODARSTVO

## 1.1 Osnovni pojmi

Z naravoslovnega stališča delimo okolje na pet med seboj prepletenih področij: atmosfero, hidrosfero, biosfero, pedosfero in litosfero. Posameznega področja ni možno obravnavati popolnoma samostojno, saj ni mogoče potegniti ločnic med posameznimi sferami. Vendarle je za dejavnosti vodnega gospodarstva najpomembnejša hidrosfera, z njo pa najtesneje povezani atmosfera in pedosfera.

Zaradi povezanosti je potrebno tudi vsak poseg v posamezno sfero hkrati obravnavati tudi kot poseg v vse sfere. Če gre na primer za ureditev rečnega odseka, za poseg v področje voda, ni dovolj, če raziščemo samo posledice na tem področju, kot so denimo zmanjšana absorpcija kisika zaradi manjše površine toka in manjša sposobnost samočiščenja, marveč je potrebno proučiti tudi posledice v ostalih sferah. Za pedosfero to denimo pomeni, da se bo lahko spremenil nivo talne vode, kar bo povzročilo spremembo v rastlinskem in s tem tudi v živalskem svetu. Če se bo izhlapevanje v ozračje zmanjšalo, lahko to povzroči še nadaljnje spremembe v živalskem in rastlinskem svetu. Zaradi hitrejšega toka vode se bo povečala transportna sposobnost vode, kar predstavlja vpliv na pedo- in litosfero, ipd.



Slika 1-5: Povezanost družbe in narave, prikazana s povezavami različnih sfer

**Hidrosfera** je nastala kot posledica ravnotežja med gravitacijo, ki zadržuje pline na zemlji in lastnim gibanjem molekul. Zrak, ki sestavlja atmosfero je zmes plinov, katerih vsebnost se zelo malo spreminja. Izjema je vodna para, katere vsebnost relativno močno niha. V ozračju je lahko od 0,02 do 2 % vodne pare. Je torej meteorološko zelo pomembna, saj nastopa v vseh treh agregatnih stanjih, namreč kot vodna para, tekoča voda in led.



**Klima** je vremenska slika obravnavanega področja, določena z dolgoletnimi opazovanji. Glavne klimatske cone so: tropska, zmerna in arktična. Okvirne meje so povratniki in polarni krog. Vodnogospodarsko je pomembna delitev na: aridno (sušno) podnebje, humidno (vlažno) podnebje, semiaridno (polsušno) podnebje in nivalno (snežno) podnebje.

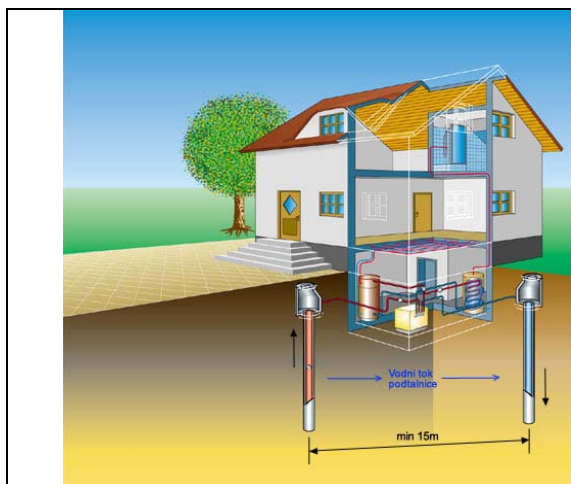
**Vreme** je stalno menjajoči se pojav posameznega kraja ali področja v troposferi v določenem trenutku. *Klima in vreme* sta odvisna od zračnega pritiska, temperature zraka, gibanja zračnih mas, atmosfere elektrike, vode v zraku (zračna vlaga, oblaki, padavine) in sevanja.

## 1.2 Pojavne oblike vode

Voda se pojavlja v treh agregatnih stanjih kot vodna para, kot tekočina in kot led. Z vodnogospodarskega stališča je najbolj zanimiva tekoča faza vode, ki jo razdelimo, glede na kraj pojavljanja, na površinske vode, na podzemne vode in na morje.

Vode delimo na:

- **Tekoče vode**
  - Naravne tekoče vode, s padajočo velikostjo označene kot vodotok, reka, potok, potoček, ter kot posebnosti, ki jih označujejo izrazi: hudournik, bistrica, plimni tok, ipd..
  - Umetne tekoče vode, s padajočo velikostjo označene kot kanal (plovni, namakalni, osuševalni, energetski, kanal za dovod industrijske vode, mlinščica, ipd.)
- **Stoječe vode**
  - Naravne stoječe vode, s padajočo velikostjo označene kot jezero, ribnik, mlaka.
  - Umetne stoječe vode, s padajočo velikostjo označene kot jezero (naravno, akumulacijsko), bazen (ribogojniški, hladilni, bazen za čiščenje odpadne vode).
- **Podzemne vode**
- **Morje**



Slika1-6: Podtalnica<sup>4</sup>

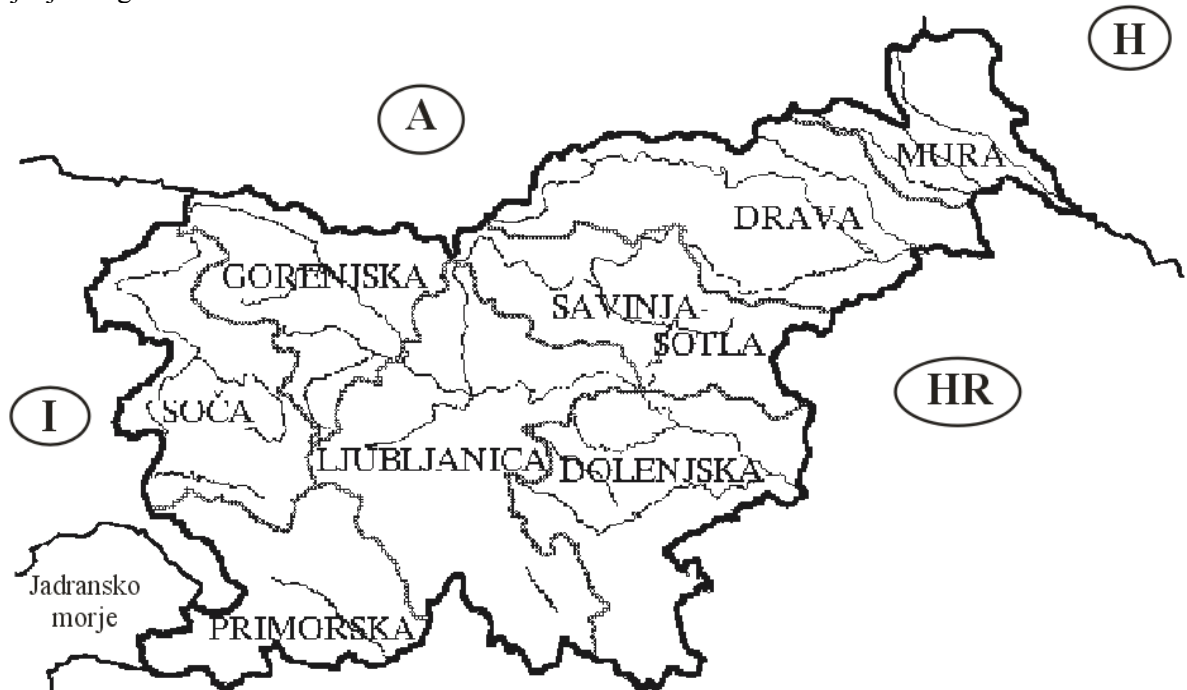


Slika1-7: Reka(Osijek)

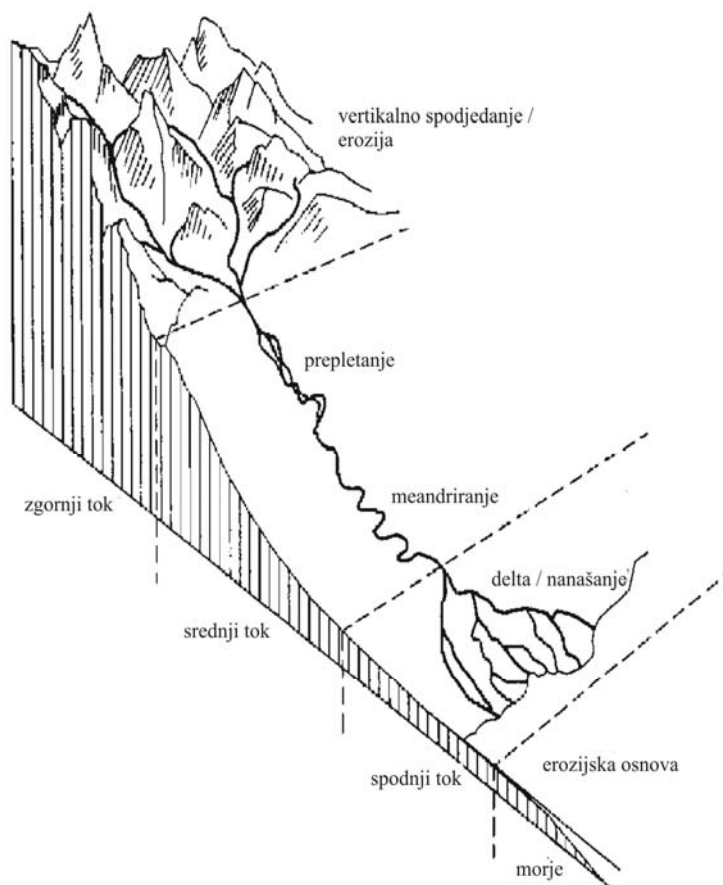
<sup>4</sup> Vir: [www.finesa-mb.si](http://www.finesa-mb.si)

### 1.2.1 Tekoče vode (vodotoki)

Že hiter pogled na hidrografsko karto nam pove, da se daleč največji del tekočih voda začne v gorovjih. Tam izvira zbrana padavinska voda, ali pa se v potočke zbira površinska voda med padavinami ali pri topljenju snega.



Slika 1-6: Glavni vodotoki v Sloveniji in meje med posameznimi vodnimi območji, kot osnovne enote vodnogospodarskih dejavnosti



Običajno nastane površinski vodotok v hribovju in sledi po zakonu sile teže padnici terena. Padec tekoče vode, ki nastane v hribovju se tako zmanjšuje od zgornjega toka preko srednjega dela toka do spodnjega toka. Vodotok tako v zgornjem delu toka, ko ima večji padec, lažje premaguje odpor trših zemeljskih slojev, kot v srednjem toku, medtem, ko jih v spodnjem delu toka le izjemoma. S tem si lahko razlagamo tudi izravnane odseke v zgornjem delu toka in naraščajoče zavijanje trase s tokom navzdol.

Pri tem je posebno pomemben še en pojav: v zgornjem delu toka, ko ima reka zaradi velikega padca mnogo energije, pogloblja rečno dno. Poglobljanje traja toliko časa, dokler ni doseženo ravnotežje med vlečenim materialom in potencialno vlečno silo. V srednjem toku je pojav v glavnem v ravnotežju, medtem, ko se v spodnjem delu toka potencialna vlečna sila bistveno zmanjša in se pojavi odlaganje plavin.

Slika 1-7: Vodni tok v zgornjem, srednjem in spodnjem delu toka

### 1.2.2 Stoječe vode

Glede na nastanek naravnih stoječih voda ločimo poglobljena jezera in zajezena jezera.

V skupino poglobljenih jezer spadajo:

- ledeniška (glacialna) jezera v nekoč ledeniških pogorjih, katerih dno pogosto sega pod gladino morja,
- bazeni, ki so nastali s tem, da je veter odpihal zgornje sloje zemljine,
- kraterska jezera v nekdanjih vulkanskih področjih,
- jezera, ki so nastala z vdorom strehe nad podzemnimi jamami na kraških področjih,
- jezera v tektonskih jarkih.

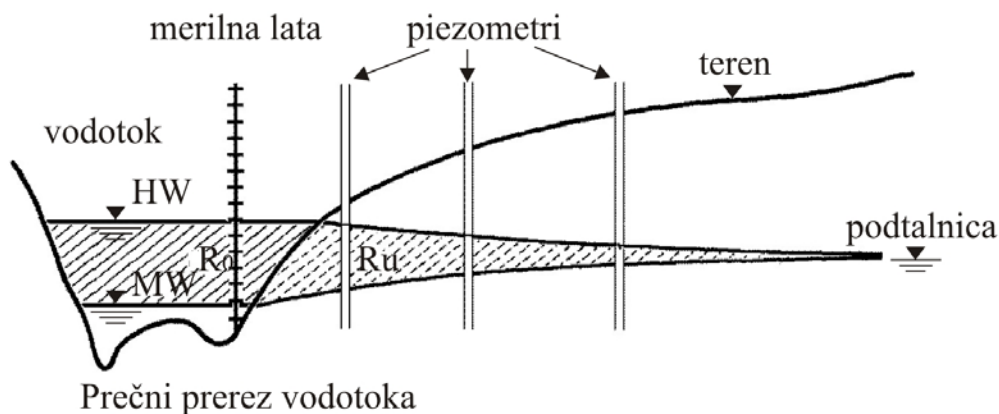
Zajezena jezera so nastala:

- zaradi ledenodobnih naplavin (morene)
- zaradi naplavin na ustju stranskega toka v glavni tok
- zaradi podora, zdrsa ali drugih naravnih dogodkov
- kot umetne zajezbe: akumulacije, suhi/mokri zadrževalniki, ipd.

### 1.2.3 Podzemne vode

Velik delež padavin pronica v tla in obogati podzemne vodne zaloge. Razlikujemo dve obliki podzemne vode: vodo, ki je ponikla in navlažila zemljo, in podtalnico (t.j. popolnoma zasičeno območje podtalja, kjer ima voda značaj tekočine (fluida)). Ob rahlem dežju prodre deževnica le v zgornje plasti in tam tudi ostane ujeta, še posebno, kadar je zemljina iz šote ali močno glinastega materiala. To plast imenujemo cono zadrževanja vode. Če so padavine močnejše, tla pa bolj prepustna (peščena ali prodnata), prodre voda skozi zgornje zemeljske plasti v podtalnico, ki se oblikuje nad nepropustno plastjo.

Neprepustni zemeljski sloj, nad katerim se zadržuje voda, imenujemo horizont podtalnice. Posebno bogate s podtalnico so peščene in prodnate zemeljske plasti, ki so nastale v diluviju. V teh plasteh so med posameznimi talnimi delci številni majhni medprostorji, ki jih lahko napolni voda. Črte, ki povezujejo enake višine podtalnice imenujemo linije izenačene podtalnice. Potek teh linij dokazuje smer toka podtalnice oz. v kakšni povezavi je podtalnica z vodotoki. Pri nizki gladini v vodotoku se tako vodotoki napajajo s podtalnico (izcejanje iz vodonosnika), pri visoki vodni gladini v vodotokih in pri poplavih pa voda doteka v podtalnico (napajanje oz. infiltracija).



Slika 1-8: Zveza med vodostajem v vodotoku in podtalnice (izcejanje, napajanje)

V coni, v katero pronica voda, je le talna vlaga, vse do nivoja, kjer se oblikuje podtalnica. Nad podtalnico pa se oblikuje še plast, v katero se v talnih kapilarah dviga voda zaradi delovanja površinskih sil, ko so te močnejše od sile težnosti. Pri izhlapevanju kapilarne vode na površje se tam izločajo v vodi raztopljene soli v obliki soli ali sadre.

V trdnih kamninah je lahko voda v razpokah ali kot vodni sloj. Voda v razpokah vdira kot talna vlaga skozi majhne odprtine v kamnine, nato pa te odprtine počasi povečuje zaradi delujočih fizikalnih in kemičnih



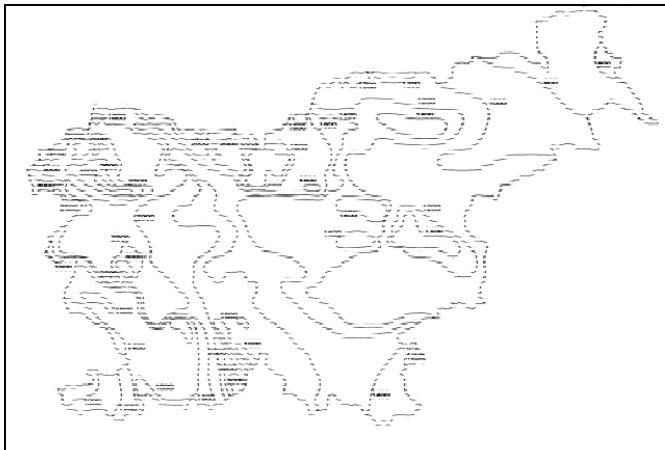
procesov. Kemični procesi so posebno močni, če tla vsebujejo soli ali sadro na apnenčastih tleh, kjer vsebuje voda, ki pronica, veliko ogljikovega dioksida. Vodne sloje pa najdemo predvsem v sedimentnih kamninah, na primer v peščencih in v prhljci. Če so nad vodnim slojem ali pod njim neprepustne zemeljske plasti, lahko nastanejo veliki podzemski vodni tokovi, ki se na primernih lokacijah pojavijo na površju kot arteški studenci.

Podtalnica vsebuje v splošnem veliko raztopljenih snovi. Njihova vsebnost je odvisna od časa zadrževanja vode pod zemljo, od temperature, od topnosti in sestave kamnin. Ker je vsebnost kisika v podtalnici običajno nizka, so oksidacijski procesi v njej omejeni. Zaradi tega ostanejo mnoge spojine topne. Ko pa pride podtalnica na površje in v stik z zračnim kisikom, raztopljene snovi razpadejo kot oksidi.

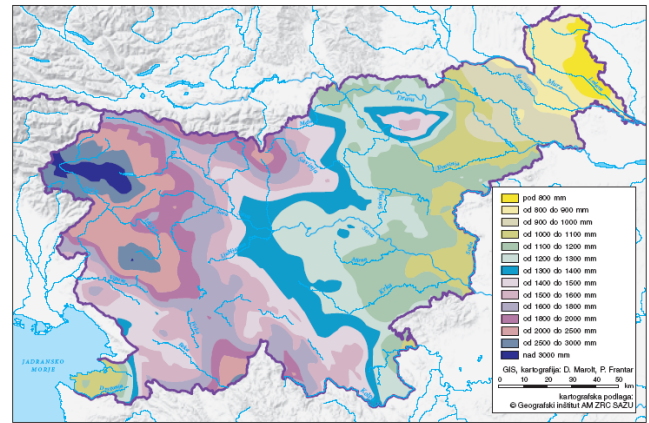
Podzemne vode so vse vode pod trdnim zemeljskim površjem. V splošnem tako zajemajo talne vode, poleg njih pa spadajo k podzemnim vodam še podzemni vodni tokovi, kraške vode in talna vlaga nad nivojem talne vode. Podzemne vode, ki nastopajo v kroženju vode in se vračajo kot padavine se v geološkem smislu označijo kot vadozne. V nasprotju z njimi prihaja juvenilna voda iz notranjosti zemlje (npr. termalne vode).

### 1.3 Naravne danosti - Vode v slovenskem prostoru

V Sloveniji pade v povprečju letno ca. 1.500 mm padavin letno (alpski svet tudi nad 3.000 mm, skrajni rob Pomurja pod 800 mm). Glede na takšno količino padavin ter intenzivnost reliefa je pomembna prirodna danost našega prostora naravno zadrževanje odtokov.



Slika 1-9: Porazdelitev povprečnih padavin v Sloveniji za obdobje od leta 1926 do leta 1965 (glej Vodnogospodarske osnove Slovenije<sup>5</sup>)



Slika 1-10: Porazdelitev povprečnih padavin v Sloveniji za obdobje od leta 1961 do leta 1990<sup>6</sup>

Pomembna značilnost slovenske hidrografske mreže je tudi obsežno kraško območje (ca. 40% slovenskega prostora), kjer se zadrži 75 do 85% visokovodnih konic, medtem ko se v alpskem svetu zadržijo predvsem snežne padavine. Pomembno vlogo pri zadrževanju padavin ima tudi gozd, zato je slabša sposobnost zadrževanja voda značilna predvsem na gričevnatih, slabše poraslih in slabše prepustnih tleh (Goričko, Koprsko).

Vode, ki izvirajo ali pritekajo v Slovenijo iz sosednjih držav odtekaajo v Jadransko in Črno morje. Celotno zbirno območje vseh vodotokov, ki prečkajo državne meje in tečejo preko Slovenije obsega skupaj 43.274 km<sup>2</sup> površine, pri čemer je površina Slovenije le 20.251 km<sup>2</sup>. Torej lahko neposredno vplivamo na rabo prostora z vidika varstva in urejanja voda v obsegu manj kot 47%.

<sup>5</sup> Internet: <http://193.2.92.57/vodinftr/>

<sup>6</sup> Vir: [www.arso.si](http://www.arso.si)

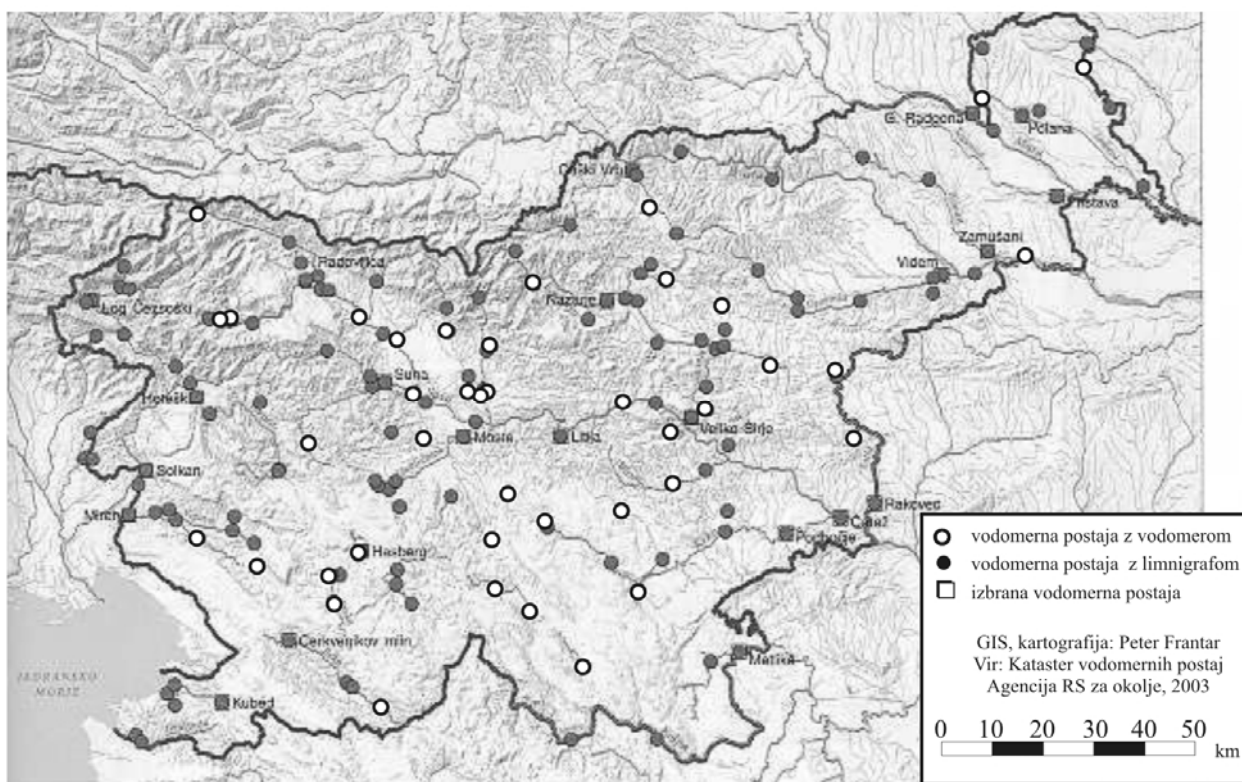
Zaradi geografskih, morfoloških, klimatskih in hidrogeoloških pogojev odtoka iz Slovenije skupaj 33.944 mio m<sup>3</sup> voda/leto, od česar samo s področja naše države 19.170 mio m<sup>3</sup>/leto. Torej nastane v Sloveniji 57% skupnega odtoka.

Skupni srednji pretok na državni meji pri izhodu iz R Slovenije znaša 1072 m<sup>3</sup>/sek. Za gospodarjenje z vodami pa je pomembnejše, kakšni so minimalni in maksimalni odtoki vode iz Slovenije, saj so te razmere z vidika varstva pred vodami in možnosti gospodarske izrabe in rabe vodnih količin merodajni.

**Preglednica 1-1:** Minimalni odtoki, ugotovljeni na vodomernih postajah na prehodu čez državno mejo

Porečje Drave	72,8 m <sup>3</sup> /sek
Porečje Save	40,4 m <sup>3</sup> /sek
obalno morje s Sočo	13,5 m <sup>3</sup> /sek
torej znaša skupni minimalni odtok iz RS	126,7 m <sup>3</sup> /sek

Razmerja med maksimalnimi in minimalnimi pretoki kažejo na hudourniški značaj naših vodotokov.



Slika 1-11: Karta vodomernih postaj (ARSO, 2000)

Celotna hidrografska mreža v Sloveniji je ocenjena na 26.603 km, od česar je 17.894 km nižinskih vodotokov in 8.709 km hudournikov. Hidrografska mreža pomembnejših vodotokov v R Sloveniji meri 9.781 km, od tega je 7.469 km nižinskih vodotokov in 2.312 km hudournikov. Le na manjšem delu teh vodotokov so bili že izvedeni regulacijski posegi. Dolžina urejevanih vodotokov znaša 2.441 km, pri čemer pa je 25,5 % pomembnejših vodotokov že reguliranih ali drugače umetno urejevanih. Od skupnega hidrografskega omrežja R Slovenije so bili doslej izvedeni hidrotehnični posegi le na 9 % vodotokov in hudournikov.

**Preglednica 1-2:** Razmerja med maksimalnimi ( $vQ_{v(k)}$ ) oz. minimalnimi ( $nQ_{n(k)}$ ) pretoki pomembnejših vodotokov pred prehodom čez državno mejo

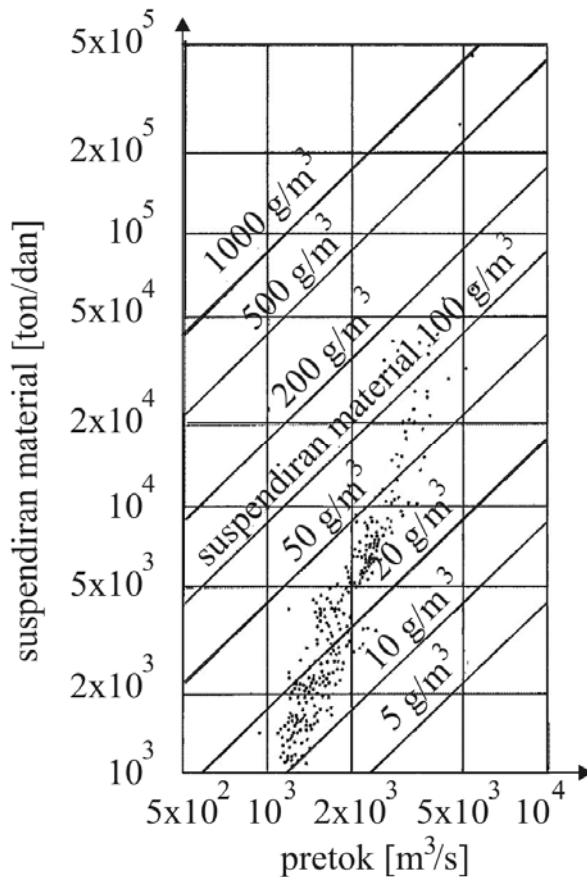
Vodotok	$vQ_{v(k)}$	$nQ_{n(k)}$	Razmerje
Mura	1440 m <sup>3</sup> /sek	35,9 m <sup>3</sup> /sek	40:1
Drava	2708 m <sup>3</sup> /sek	55,0 m <sup>3</sup> /sek	49:1
Sava	3650 m <sup>3</sup> /sek	46,3 m <sup>3</sup> /sek	79:1

Soča	1900 m <sup>3</sup> /sek	11,6 m <sup>3</sup> /sek	164:1.
------	--------------------------	--------------------------	--------

Zaradi teh posegov se je zmanjšala ogroženost (naravnih) poplavnih površin. Večjih poplavnih površin je v Sloveniji 71.170 ha, od teh je vsaj 20 % takih, na katerih zaradi občasnih poplav ni večje škode. Ostale poplavne površine so sicer že v veliki meri branjene, vendar so glede na pomembnost površin, varovane z različno stopnjo varnosti (od Q<sub>5</sub> do Q<sub>100</sub> : glej poglavje 1.4).

**Preglednica 1-3: Izpostavljenost delovanju erozijskih procesov**

prispevno področje	ogrožena površina	količina sproščanja hribinskega materiala
Drave in Mure	2500 km <sup>2</sup>	5.000.000 m <sup>3</sup>
Save	4400 km <sup>2</sup>	870.645 m <sup>3</sup>
Jadrana (Soče in obale)	1900 km <sup>2</sup>	441.000 m <sup>3</sup>



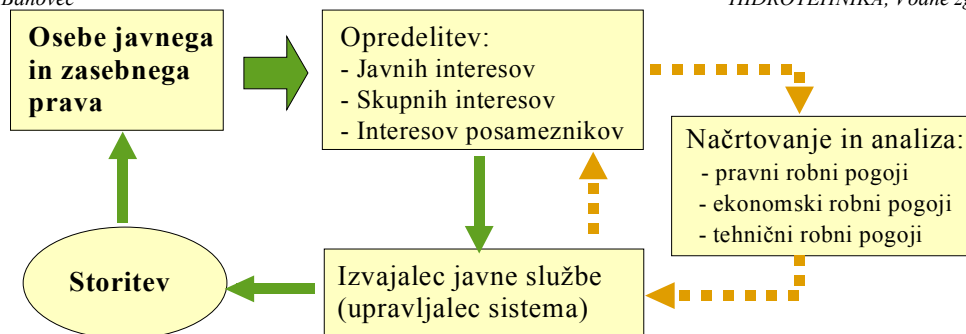
Slika 1-12: Prikaz raztrosa podatkov o količini transportiranega suspendiranega materiala

Da bi uskladili naravne danosti in potrebe po vodi, so potrebne določene storitve, ki jih na področju voda zagotavlja državna ali lokalna vodna gospodarska javna služba (VGJS). Proces od izraženega interesa (potrebe) do zagotovljene storitve je prikazan na sliki.

Za Slovenijo je značilna velika reliefna in geološka raznolikost, hkrati pa je dobra tretjina ozemlja plazovita (glinasti škrljavci, glinene usedline in fliš), na področju Alp in Karavank pa sestavljajo tla menjajoče se vodopropustne in vodonepropustne plasti. Krovna plast preperine in plodnih tal je ravnovesno labilna; voda, preperevanje, nepremišljeni posegi v okolje lahko sproščajo erozijske procese, plazove in velike premike kamenin in zemljine.

Kar 8.800 km<sup>2</sup> površine Slovenije (torej 43.5%) je izpostavljena delovanju erozijskih procesov.

Vode odnesejo v dolino cca 47 % sproščenega materiala, (tj. 2,350.000 m<sup>3</sup>/leto), kot plavine v vodotokih. Od celotne količine je 750.000 m<sup>3</sup>/leto rinjenih plavin (prod) in 5.574.000 m<sup>3</sup>/leto lebdečih plavin (kalnost, suspenzije). Od 750.000 m<sup>3</sup>/leto rinjenih plavin ugotavljamo, da znaša transport preko meja Slovenije 335.000 m<sup>3</sup>/leto, razlika 415.000 m<sup>3</sup>/leto, pa zaprojuje struge, rečne zadrževalnike in akumulacije že zgrajenih HE.



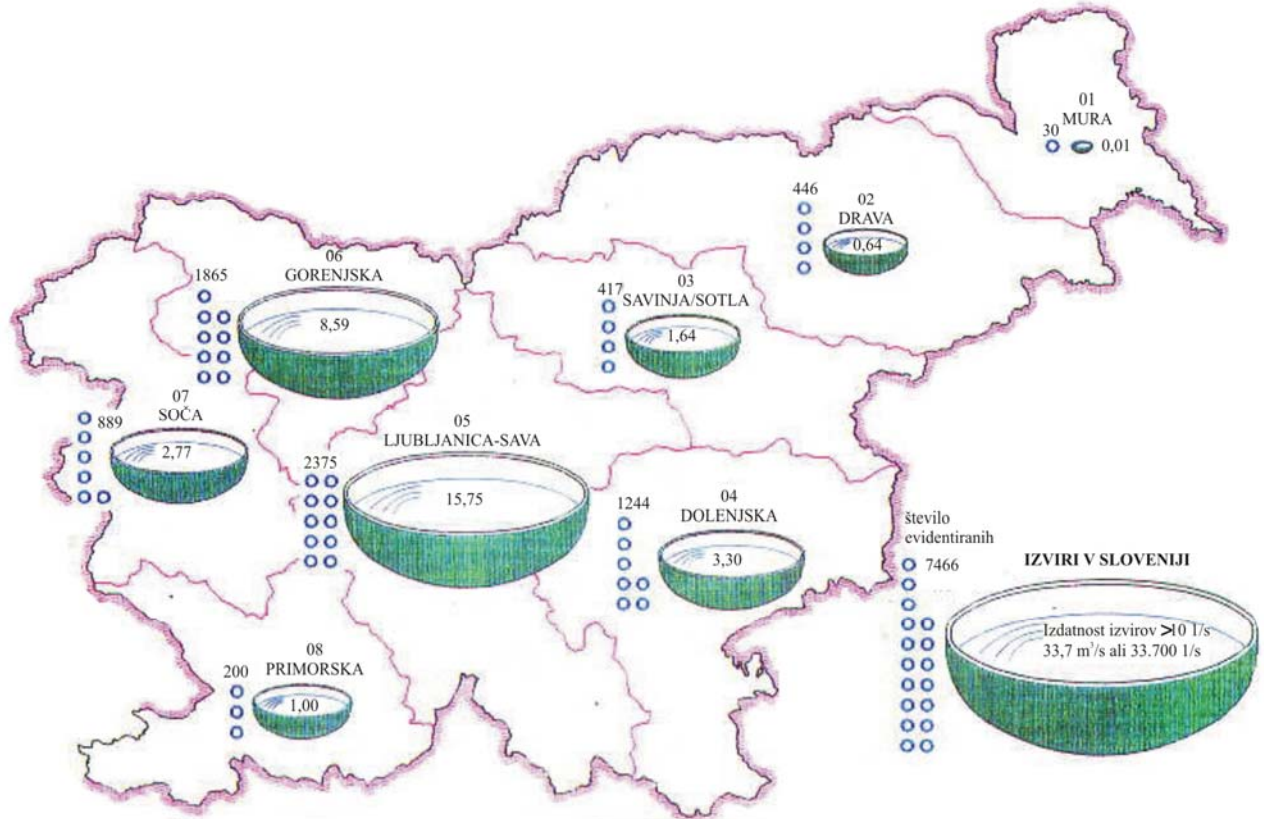
Slika 1-13: Dva ciklusa procesov od izraženege interesa do zagotovljene storitve

V Sloveniji se je šele v zadnjih 20 letih resneje pristopilo h gradnji zadrževalnikov visokih voda in manjših akumulacij. Doslej je njihova prostornina narasla na 103,6 mio m<sup>3</sup> vode. Glede na skupni odtok (33.944 mio m<sup>3</sup>) torej v Sloveniji namensko zadržimo le 0.3 % odtoka! Pri tem pa je še pomen teh objektov večji v pogledu varovanja površin pred visokimi vodami, kot pa za večnamensko rabo. Njihov vpliv na povečanje minimalnih pretokov v rekah je zanemarljiv, le deloma pa se akumulirana voda že uporablja v gospodarske namene (preskrba z vodo, kmetijstvo).

Bilanca sušnih voda je izhodišče za oceno možnosti oskrbe s pitno, tehnološko in hladilno vodo ter vodo za namakanje. Te vode morajo biti zagotovljene kadarkoli s 95 % gotovostjo (ti: Q<sub>355</sub>, glej poglavje 1.4). Skupni odtok Q<sub>355</sub> iz Slovenije znaša 230 m<sup>3</sup>/s. V vodotokih je potrebno v vsakem času ohraniti minimalne pretoke, ki znašajo Q<sub>min</sub>=128 m<sup>3</sup>/s, zato je torej v ekstremnih primerih (za preskrbo z vodo, za industrijo, za namakanje,...) možno odvzeti iz vodnih sistemov Slovenije ob vsakem času največ do 102 m<sup>3</sup>/s vode.

Po posameznih vodnih območjih ali njihovih delih so možnosti za zagotavljanje gospodarsko izkoristljive vode zelo različni. Območje Save razpolaga le s Q=28,8 m<sup>3</sup>/s, območje Drave z Muro pa z 9,3 m<sup>3</sup>/s izkoristljive vode. Za oskrbo s pitno in kakovostno tehnološko vodo so zato pomembne predvsem rezerve podtalnih voda. Skupna bilanca vodnih količin podzemnih voda v Sloveniji znaša 43,8 m<sup>3</sup>/s. Od teh količin podzemnih voda razpolaga vodno območje obalnega morja le z 2,2 %, porečje reke Soče z 11 %, vodno območje Save z 71 % ter območje Drave z Muro s 14,5 %. Ocenjuje se, da je od teh voda v kritičnih obdobjih na razpolago le 38 m<sup>3</sup>/sek, kvaliteta te vode pa je vedno bolj vprašljiva.

V najboljši I. kakovostni razred sodijo le še nekatere vode v povirjih rek. Pretežen del površinskih voda pa se nahaja v II. kakovostnem razredu ali na meji med II. in III. kakovostnim razredom. V III. kakovostnem in deloma v IV. razredu se nahajajo predvsem reke: Sava, Savinja in Drava pod večjimi onesnaževalci kot so Ljubljana, Krško, Celje z Laškim in Maribor.



Slika 1-14: Količina vode po vodnih območjih

Ugotavljamo, da se nekatere emisije v slovenske vode in obalno morje zmanjšujejo, druge pa zvišujejo. Najpomembnejši viri emisij so industrijske odplake, komunalne odpadne vode, emisije kmetijskih dejavnosti, posebni ali komunalni odpadki, ter transport nevarnih ali škodljivih snovi. V preteklem obdobju se je najbolj menjala struktura in količine tehnoloških odplak, zmanjšale so se, ali pa stagnirajo, emisija in stopnja škodljivih odplak klasičnih onesnaževalcev kot so: črna in barvna metalurgija, industrija celuloze in papirja, usnjarska industrija, tekstilna industrija in rudarstvo.

V porastu so emisije kemične industrije, kovinsko predelovalne industrije, prehranske industrije, predvsem pa vse oblike emisij iz kmetijstva (kmetijska proizvodnja in živinoreja). Emisija prebivalstva in komunale urbanega prostora se postopoma zmanjšujejo.

V absolutnem porastu pa so emisije iz neurejenih komunalnih deponij odpadkov ali odlagališč posebnih odpadkov. Posledice teh procesov se kažejo v spremenbah strukture in količin emisij. Količine emisij se le postopoma zmanjšujejo, slabša se struktura emisij v vode. Vse več je kemijskih spojin, ki so strupene ali toksično delujejo na vode. Nitrifikacija podtalnih voda je v naglem porastu, povečujejo se fosfatne spojine in emisije ogljikovodikovih spojin, ter kovine (v vodotokih in sedimentih ter v podtalnicah).

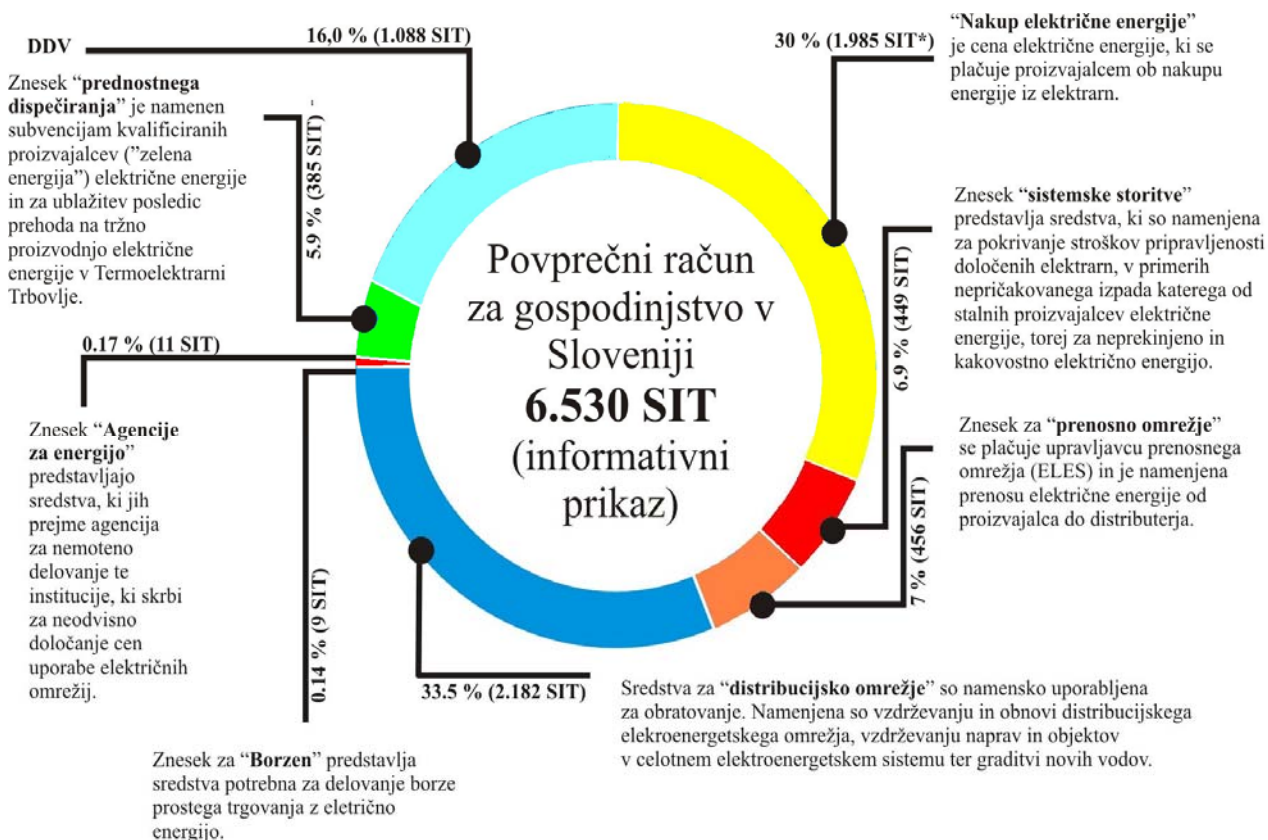
V Sloveniji je še 90% vseh vodotokov v veliki meri ohranilo svoje prirodne lastnosti. Zato je tako ribje bogastvo, kot drugi živi svet v in ob vodotokih še relativno dobro ohranjen. Življenje v vodah v bistveno večji meri ogrožajo emisije in slaba kakovost voda. Fizični posegi v vode, siromašenje ali uničevanje biotopov, ki omogočajo življenje v vodah, so v dolgoročnem pogledu nevarnejši. Pri načrtovanju novih posegov v prostor in zaradi njih spremljajočih novih ureditev voda se obstoječi biotopi varujejo in bogatijo. Ribam in drugim vodnim organizmom bo potrebno poleg gojitvenih vodnih površin zagotoviti še možnost za migracije, površine za drst in vzgojo mladice ter prostor za mirovanje in počitek.

Pri iskanju optimalnih ureditev površinskih voda je potrebno upoštevati še rekreativne in estetske vrednote voda in vodnih zemljišč. Napake, ki so bile napravljene v preteklosti pri tem segmentu oblikovanja prostora, bo mogoče zmanjšati ali postopoma odpraviti.

Ocenjuje se, da znaša energetski potencial slovenskih vodotokov cca 42.000 GWh neto vodne energije, od česar bi bilo možno tehnično izkoristiti 85 % neto hidro potenciala. Zaradi ostalih omejitvenih pogojev pa je izkoristljivost hidro potenciala za proizvodnjo energije še bistveno manjša. Upoštevati je potrebno, da je energetski potencial reke Drave v Sloveniji že skoraj v celoti izkoriščen. Največje rezerve potencialov



vodne energije so razporejene na povodju rek Save in Mure. Energetski potencial reke Soče še ni v celoti izkoriščen, vendar ni verjetno, da bi bila gradnja večjih objektov na tem vodotoku možna. V veliki meri je še neizkoriščen potencial manjših vodotokov za gradnjo malih HE, za katere pa obstajajo možnosti za gradnjo teh objektov le ob pogoju, da bodo ti posegi usklajeni z interesi varstva voda in okolja.



Slika 1-15: Struktura povprečnega računa za gospodinjstvo v Sloveniji

#### Preglednica 1-4: Tarifne postavke za obračun omrežnine in dodatkov tarifnim odjemalcem

Odjemna skupina	Obrač. moč mesečno (SIT/ Kw)	Delovna energija (SIT/kWh)		
		VT	MT	ET
Ves odjem na nizki napetosti	191,18	8,043	6,325	7,184
OD TEGA ZA				
• distribucijsko omrežje	60,62	6,625	5,096	5,860
• prenosno omrežje	34,10	0,820	0,631	0,726
• sistemske storitve	64,16			
• Agencijo za energijo RS		0,038	0,038	0,038
• prednostno dispečiranje	32,30	0,530	0,530	0,530
• borzen		0,030	0,030	0,030

VT-večje dnevne tarifne postavke ob delavnikih od ponedeljka do sobote v času od 6. do 13. in 16. do 22. ure; v razdobju, ko se uporablja poletni čas pa od 7. do 14. in od 17. do 23. ure.

MT-manjše dnevne tarifne postavke v času od 22. do 6. ure in od 13. do 16. ure; v razdobju, ko se uporablja delovni čas pa od 23. do 7. ure in od 14. do 17. ure. Ob nedeljah je manjša dnevna tarifa ves dan.

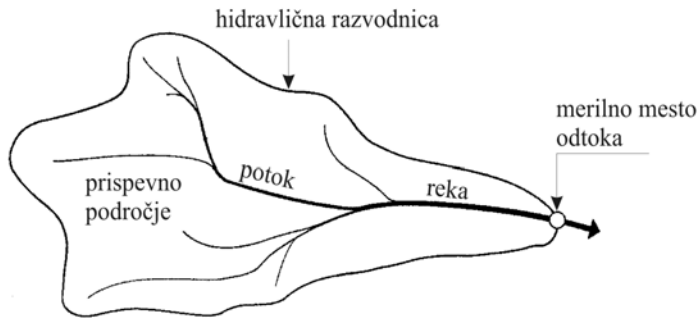
ET-enotarifno merjenje

Ne glede na stroške poslovanja, vam električno energijo prodajamo po veljavnem ceniku, ki ga je sprejela Vlada RS (Ur.l.št. 67/2002) in je stopil v veljavo dne 1. 8. 2002.

Nujno pa je opozoriti, da ima voda pomembno vlogo praktično pri vseh načinih proizvodnje energije. Zato je potrebno razen razpoložljivega hidro potenciala, upoštevati še omejitve, ki jih voda, (kot npr. sprejemnik odvišne toplote), vnaša v scenarije za preskrbo z energijo.

## 1.4 Osnove vodnogospodarskega načrtovanja

Iz dolgoletnih opazovanj na VP izhajajo analize značilnosti odtočnega režima na prispevnem (zbirnem) območju.



Slika 1-16: S pomočjo vodomerne postaje (VP) določimo lastnosti odtočnega režima



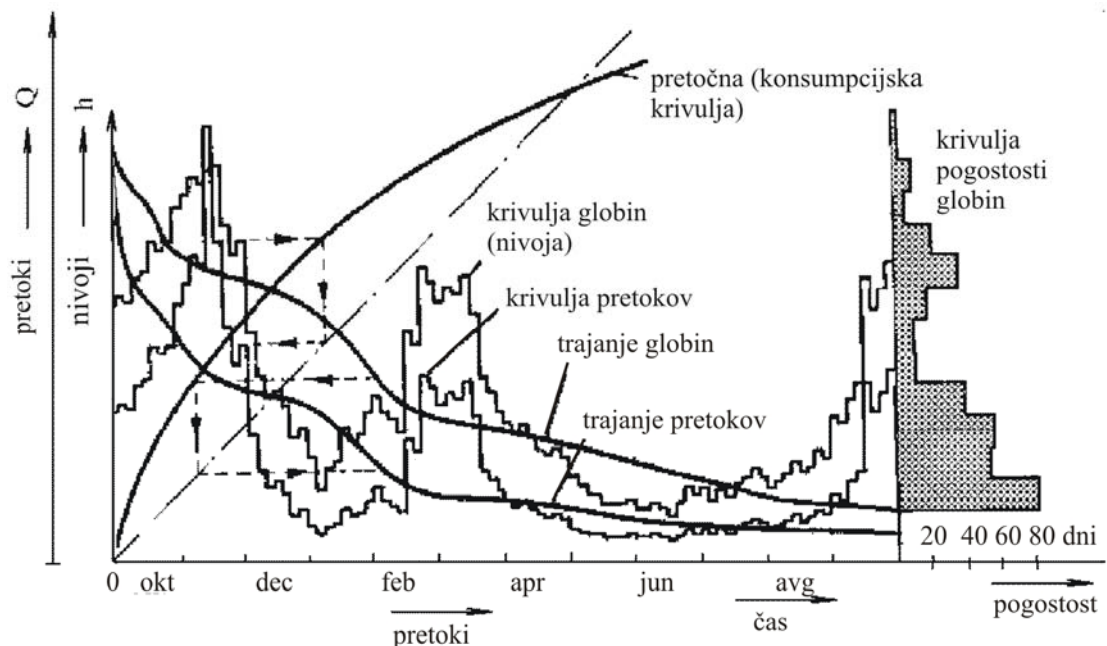
Slika 1-17: Ureditev za meritev vodostajev na VP

Iz zbranih dalj časa trajajočih meritev lahko določimo iz serij posameznih podatkov tako imenovane glavne količine (glej npr. Vodnogospodarske osnove Slovenije). V preglednici 1-5 so predstavljene najvažnejše oznake izvrednotenih količin. Za natančnejšo predstavitev posameznih količin je potrebno upoštevati še predpostavke in omejitve, ki veljajo za metode matematične statistike in hidrologije, s pomočjo katerih so bile te karakteristike pridobljene.

**Preglednica 1-5:** Pregled glavnih oznak za izmerjene vrednosti v vodomernih prerezih

Pojasnilo	Q-odtok $m^3/s$	Nivo vode cm
Najvišja znana vrednost, datum je podan	$Q_v(p)$	$H_v(p)$
Najvišja vrednost v danem časovnem obdobju	$vQ_v(k)$	$vH_v(k)$
Srednje visoke vrednosti, časovno obdobje je podano - konica	$sQ_v(k)$	$sH_v(k)$
Srednja vrednost v danem časovnem obdobju	$sQ_s$	$sH_s$
Srednje nizke vrednosti, časovno obdobje je podano - konica	$sQ_n(p)$	$sH_n(p)$
Najnižja vrednost v danem časovnem obdobju	$nQ_n(p)$	$nH_n(p)$
Najnižja znana vrednost, datum je podan	$Q_n(p)$	$H_n(p)$

Na sliki spodaj je prikazan niz obdelav, ki izvirajo iz enoletnega opazovanja nivoja v merskem prerezu.



Slika 1-18: Obdelava merjenih podatkov: črta meritev gladin in pretokov, linija pogostosti, linija trajanja

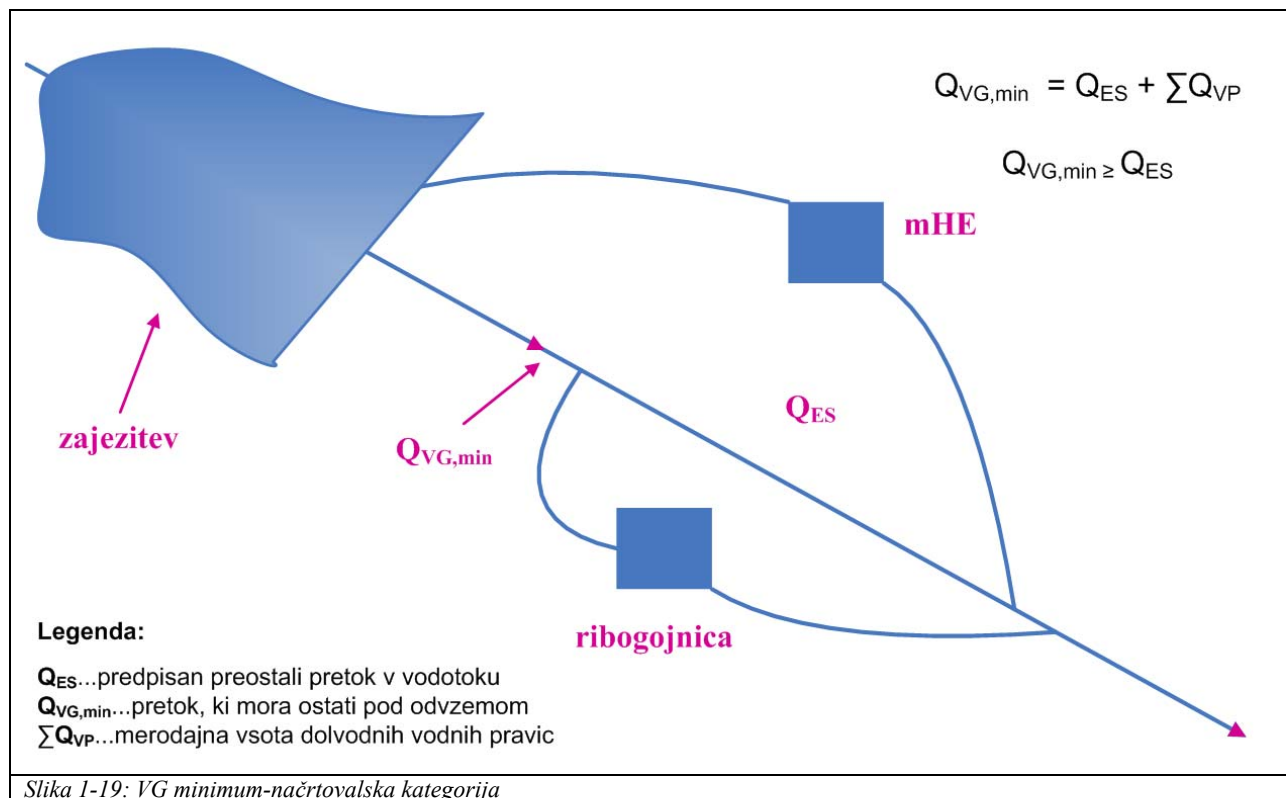
### 1.4.1 Vodnogospodarske količine

Za presojo vodnih količin, ki narekujejo različne ureditve oz. podajajo omejitve rabe vode, potrebujemo podatke o različnih komponentah vodne bilance:

1. Osnovni pretok  $Q_0$  ( $m^3/s$ ); (oz. dotok v obravnavani prerez). Glede na cilje obravnave je potrebno upoštevati različne (povprečne ali kritične) vrednosti.
2. Odvzeti pretok  $Q'$  ( $m^3/s$ ); ki predstavlja skupne količine zaradi:
  - o izhlapevanja in ponikanja,
  - o biološkega minimuma, ki mora kot ekološko sprejemljivi pretok ( $Q_{ES}$ ) ostati v vodotoku,
  - o odjema količin za ostale rabe vode (industrija, pitna voda,...).
3. Razpoložljivi pretok  $Q_1 = Q_0 - Q'$  ( $m^3/s$ ).
4. Uporabni pretok  $Q_e$  ( $m^3/s$ ); kot del pretoka  $Q_1$ , na katerega lahko računamo pri načrtovanju objektov (turbine, črpalke...), ki ga je možno torej gospodarsko izrabiti.
5. Največji uporabni pretok  $Q_i$  ( $m^3/s$ ): to je največji možni  $Q_e$ , pogojen z objektom;  $Q_i$  je torej konstantna količina (ti. instalirani pretok).
6. Potrebni odtok  $Q_b$  ( $m^3/s$ ), podan z linijo porabe (za različne porabnike vode)
7. Deficit odtoka  $Q_{f-} = Q_e - Q_b$  ( $m^3/s$ ) za  $Q_b > Q_e$  (negativna vrednost),  
suficit odtoka  $Q_{f+} = Q_e - Q_b$  ( $m^3/s$ ) za  $Q_b < Q_e$  (pozitivna vrednost).

Za obravnavano lokacijo imamo lahko večje povpraševanje po vodi, kot so razpoložljive količine. Vedeti pa moramo, da tudi tedaj, ko imamo že presežek odtoka, novi uporabnik ni v enakem položaju kot že obstoječi, saj se najprej izkoristijo najlažje dostopni potenciali.

Iz že urejenega sistema spremljanja stanja voda (monitoring) v RS je možno za daljša časovna obdobja iz vrednotiti za posamezne vodomerne postaje (VP) merodajne (izmerjene) količine.



Slika 1-19: VG minimum-načrtovalska kategorija



### 1.4.2 Zadrževanje voda

Količina vode dana z naravnim odtokom  $Q$  kaže, da se v naravi pojavljajo močna nihanja. Antropogena poraba vode le redko lahko naravni dinamiki vodnatosti, zato se pri večanju porabe kmalu pojavi razkorak med razpoložljivimi in potrebnimi količinami (npr. turistična poraba poleti). Običajno je potrebno doseči izravnavo z zadrževanjem voda, z racionalno rabo in z recirkulacijo voda. Naravna jezera in močvarne nižine z nepropustno podlago delujejo kot naravni zadrževalniki. V splošnem pa mora človek s posegi v okolje vzpostaviti umetno zadrževanje voda s tem, da zmanjša intenzivnost in hitrost odtekanja, ali pa na primernih mestih zgradi zadrževalnike.

Zadrževalniki se lahko uporabljajo za kritje potreb po vodi za različne dejavnosti: za preskrbo s pitno in industrijsko vodo, namakanje, zadrževanje visokih voda, pridobivanje energije, redčenje odpadne vode, izboljšanje plovnosti rek, ipd. V večini primerov služijo zadrževalna (akumulacijska) jezera kot večnamenski objekt.

Posebno težavo predstavlja pri zadrževalnikih dotok materiala (plavin), ki zapolnjujejo zadrževalni prostor. Tako zapolnjevanje zmanjšuje koristen volumen zadrževalnika, hkrati pa ogroža tudi stabilnost objekta, saj lahko onemogoči delovanje varnostnih (talnih) izpustov. Dotok plavin je zato potrebno predvideti že pri načrtovanju objektov. Okvirno je potrebno pri načrtovanju odlaganja materiala v zadrževalni prostor upoštevati 100 letno (življenjsko) obratovalno dobo objekta.

Glede na različne namene in cilje, ki jih želimo doseči z zadrževanjem padavinskih voda uporabljamo različne metode. Oglejmo si nekatere dejavnosti, kot jih je razčlenil Stephenson, (1981), glede na namen:

#### **Preglednica 1-6: Metode zadrževanja padavinskih voda**

namen	metoda	razlog
4.1. Zmanjševanje koničnega odtoka	opazovanje neviht površinsko pridrževanje zadrževanje v strugah hrapave površine zadrževanje na strehah zadrževanje na parkiriščih nepriključevanje prepustnih površin	napovedovanje poplav zmanjševanje poplav zmanjševanje poplav zakasnitev odtoka zakasnitev in zmanjšanje odtoka zakasnitev in zmanjšanje odtoka infiltracija in zmanjšanje odtoka
4.2. Zmanjševanje volumna celotnega odtoka	zadrževanje v zadrževalnikih razbremenjevanje prepustne utrjene površine ponikanje v bazenih ponikanje z dreni infiltracija	odstranitev pretoka zmanjšenje pretoka infiltracija zmanjšanje pret. in napajanje podtalnice zmanjšanje pret. in napajanje podtalnice zmanjšanje pretoka
4.3. Zaščita pred poplavo	zavarovanje pri zavarovalnici zaščitni objekti v poplavni coni opazovanje in javljanje	nadomestilo za škodo zmanjšanje škode evakuacija ljudi in materialnih vrednot
4.4. Ukrepi ob katastrofi	evakuacija nameščanje vreč s peskom zasilni preliv ojačevanje objektov namestitve vodnih rezervoarjev	porušitev objekta višanje nivoja vode kontrola pretoka nevarni nivoji poplavnih vod onesnaženje virov pitne vode
4.5. Kontrola erozije	položne brežine zatravljanje, ozeljenjvanje kamnometi gnojenje poplavnih področij sedimentacijski bazeni odstranjevanje sedimentov	manjša vlečna sila stabilizacija bregov in zakasnitev odtoka kontrola pretokov pospešuje zatravljjanje zajemanje plavin povečevanje pretočnosti
4.6. Kontrola onesnaževanja	pometanje ulic odsosavanje ulic pranje ulic lovljenje prvega (čistilnega) vala odstranjevanje smeti in odpadkov zadrževanje gradnja usterzljivih smetišč zatravljanje cestnih bankin	prestrezanje večjih trdnih snovi prestrezanje drobnih snovi odstranjevanje večine onesnaženja zmanjševanje onesnaženja odvodnika higienske zahteve odsedanje zaščita površinskih vod in podtalnice zajem drobnih delcev
4.7. Zakonska regulativa	zakonodaja kazni in globe, stimulacije	postavljanje standardov pospeševanje pravih ukrepov, zmanjševanje nepravilnosti



Slika 1-20: Zadrževalnik je neposredno pred nevihti prazen (izplakovalni prekat je prazen). Začne se dotok padavinske vode, nivo v bazenu narašča. Voda doseže nivo izstopne reže prekata za izplakovanje. Samodejno se vklopi vakuumška črpalka, izplakovalni prekat se polni. Ko je dosežen maksimalni nivo, se črpalka izklopi.



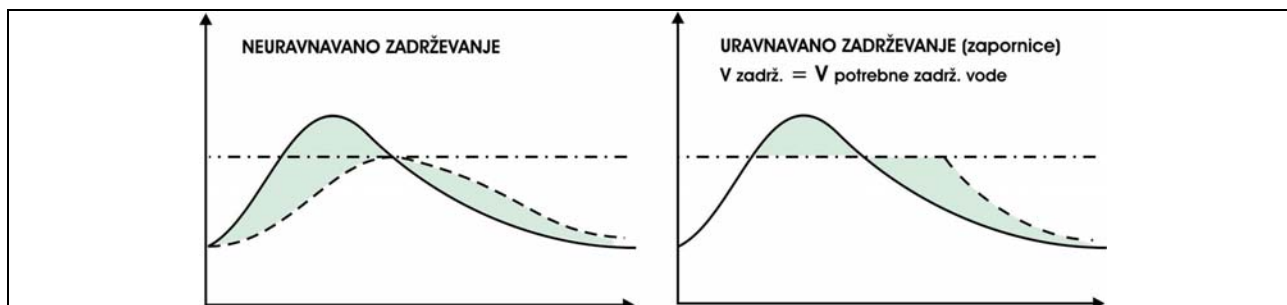
Slika 1-21: Zadrževalni bazen se po nevihti izprazni. Trdni delci, prineseni z meteorno vodo, sedimentirajo in onesnažijo tla zadrževalnika. Potem ko se izprazni ves bazen, se sproži sistem za izplakovanje. Zadržana voda sunkovito odteče iz prekata. Močan val učinkovito oplakne dno bazena.

Ta sistem za izplakovanje lahko deluje tudi pri sušnem stanju. Sistem je možno vgraditi v vsak že obstoječi zadrževalni bazen.

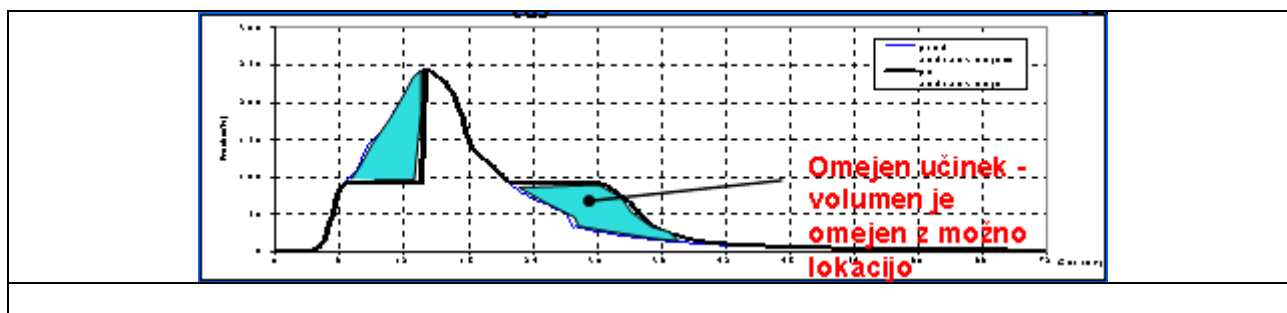
Glede na velikost zadrževalnega volumna so zadrževalniki lahko:

- **Majhni zadrževalniki**

Z njimi dosegamo dnevno ali tedensko izravnavo pretočnih volumnov, torej gre za kratkoročno izravnavo med dotokom in porabo ter odtokom. V dnevni zadrževalnikih zadovoljuje zajeti dotok 24-ih ur potrebe enega dne. Pri tedenskih zadrževalnikih se zadržuje predvsem presežni pretok ob koncu tedna in se ga razporeja po delovnih dneh.



Slika1-22: Neuravnvano in uravnvano zadrževanje



Slika1-23: Neuravnvano in uravnvano zadrževanje

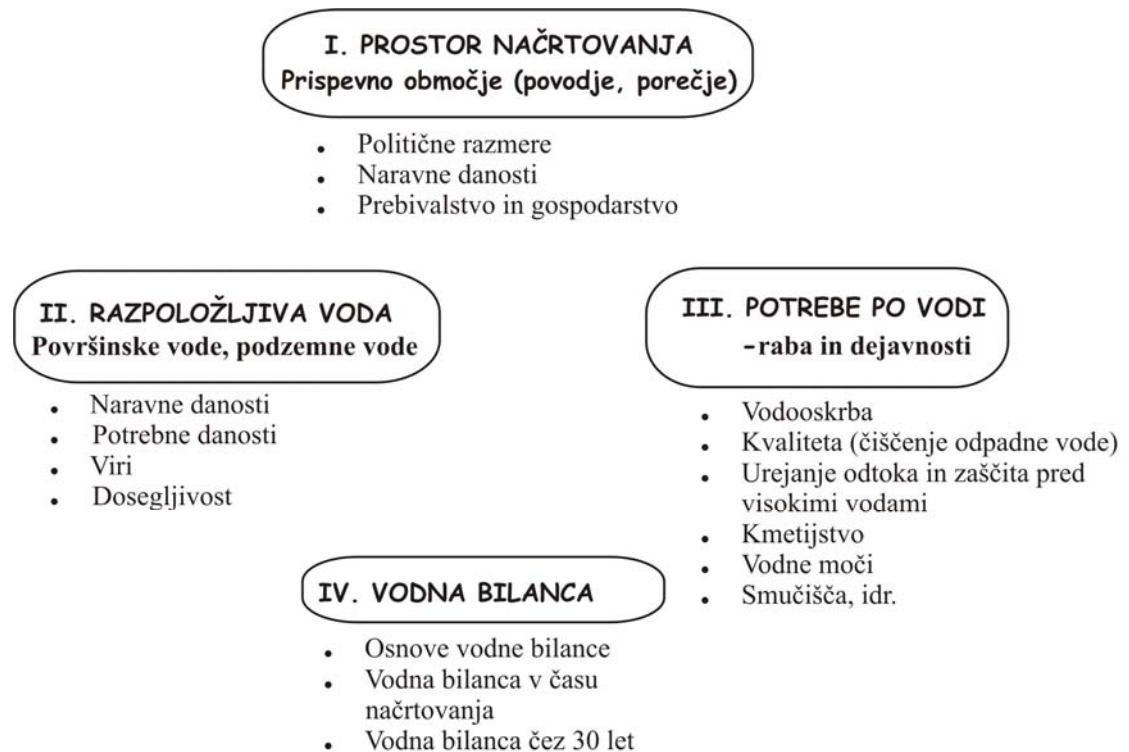
- **Veliki zadrževalniki**

Čas izenačevanja dotokov je letni ali večletni. Letni zadrževalniki omogočajo v enem letu s povprečnim dotokom izravnavo med dotokom in porabo. V primeru večletnih zadrževalnikov se izravnava razlika med dotokom in odvzemanjem vode (vključno z izhlapevanjem in pronicanjem) v več zaporednih letih.

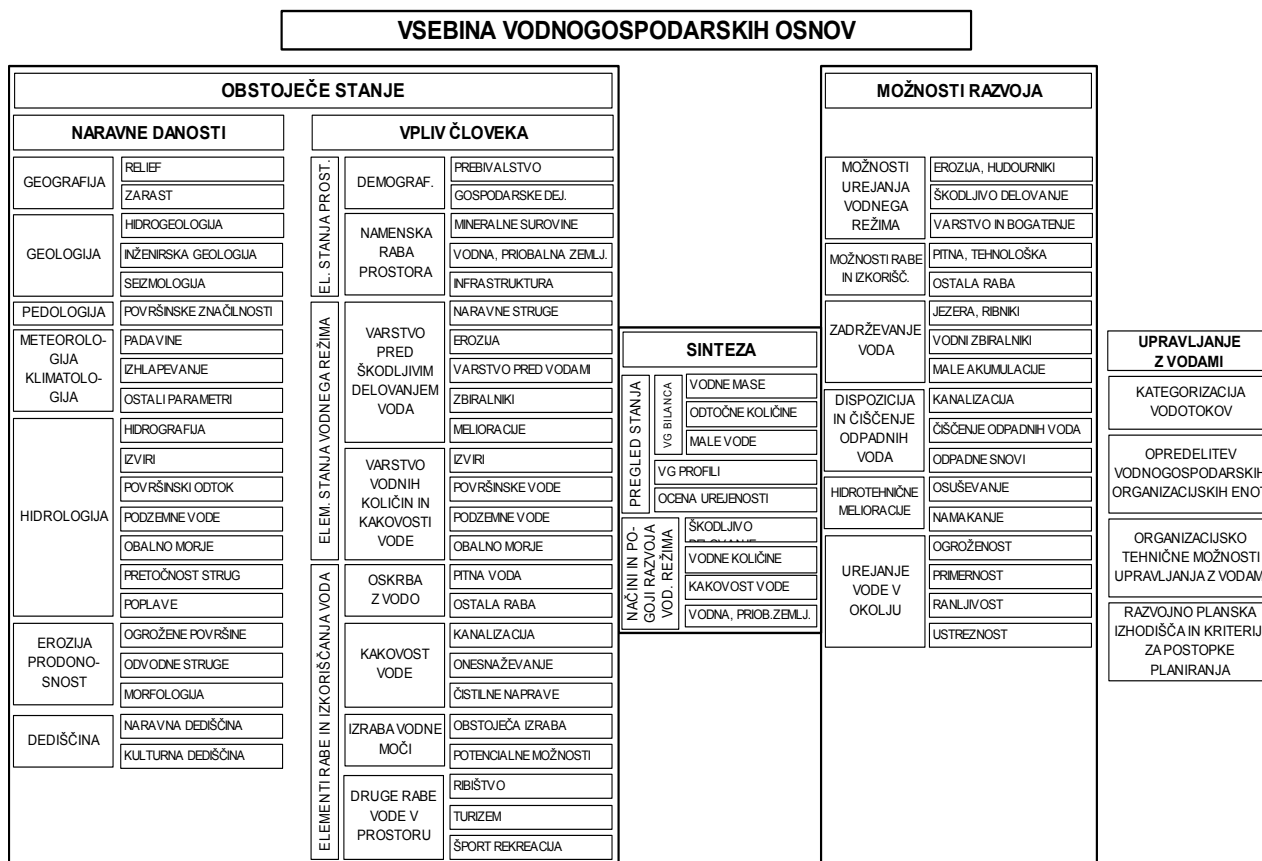
### 1.4.3 Naloge vodnogospodarskega načrtovanja

S porastom števila prebivalstva, naraščajočim življenjskim standardom, intenziviranjem poljedelstva ter razvojem industrije so povezane tudi vse višje zahteve po količinah in kvaliteti vode. Vodno bogastvo pa je določeno z naravnim kroženjem vode in je zatorej omejeno. To zahteva smotrno urejanje posameznih vodnogospodarskih dejavnosti v okviru skupnega vodnogospodarskega načrta, ki se izdeluje za zaokroženo področje, torej za posamezna povodja, celotna ali delna porečja ter za vodna območja, v okviru katerega se usklajujejo naloge za zagotovitev količine, kvalitete in biologije voda. Tako okvirno urejanje določenega povodja predstavlja vodnogospodarsko načrtovanje. Naloga vodnogospodarskega načrta je urejanje večjega, naravno pogojenega (omejenega) področja, po pravilu prispevnega območja reke, z naslednjih vidikov:

- skupne, naravne in uporabne vodne danosti,
- poraba vode in razvoj porabe,
- možnosti pokrivanja porabe iz naravnih danosti z ozirom na zaščito pred visokimi vodami in kvaliteto voda.

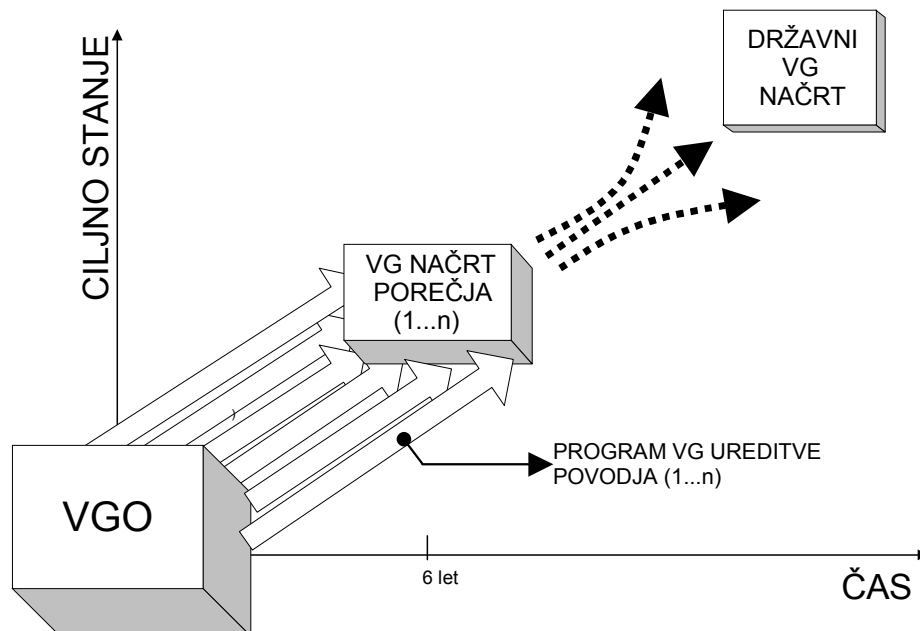


Slika 1-24: Osnovni vzorec za izdelavo okvirnega vodnogospodarskega načrta



Slika 1-25: Zgradba vodnogospodarskih osnov (po EU direktivi o vodah – River Basin Characteristics)

Iz podane sheme je razvidno, kako zahtevno je vodnogospodarsko načrtovanje. Iz Vodnogospodarskih osnov (VGO) izhajajo po EU direktivi o vodah (WFD) 6-letni načrti, katerih vsebine, ki so bile izvedene, se vnesejo v VGO.



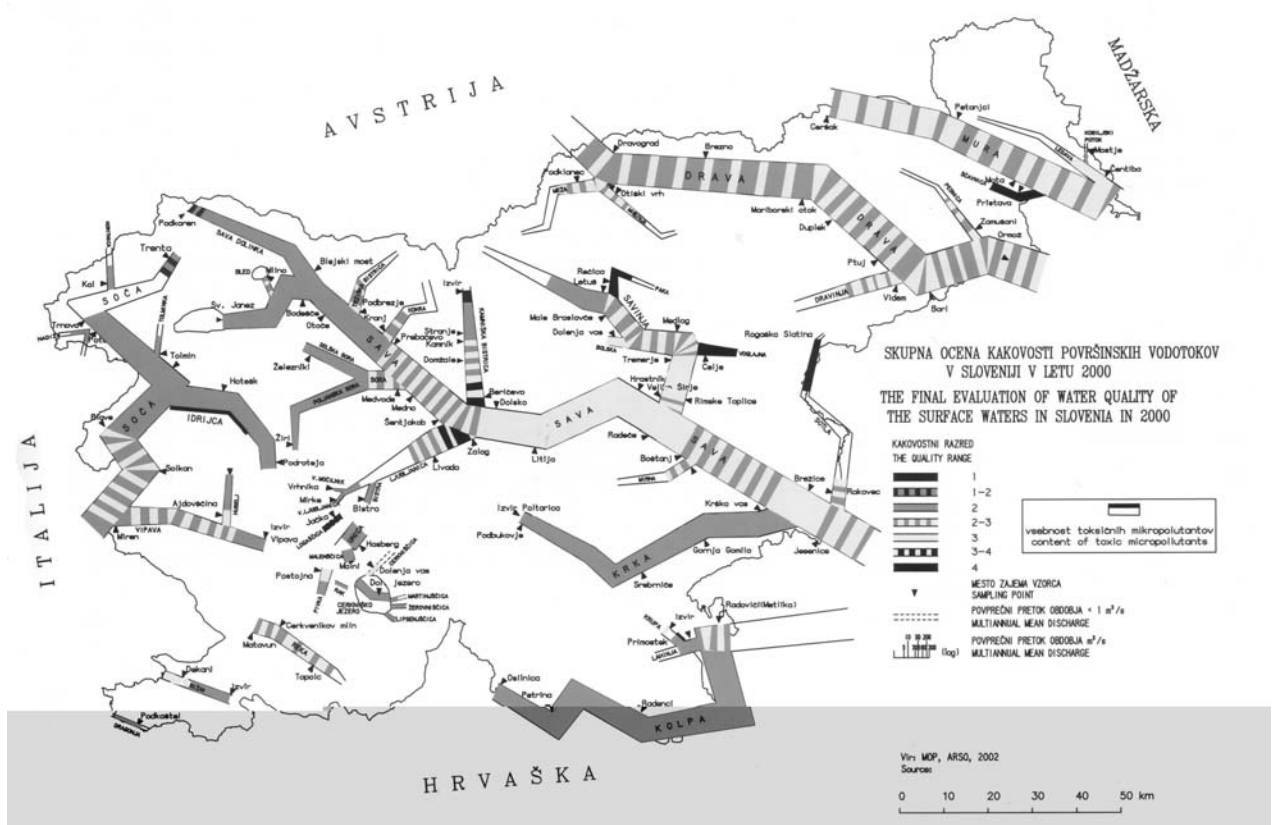
Slika 1-26: V šestletnih obdobjih poteka načrtovanje in programiranje na področju voda (po WFD)

Na ta način je doseženo obnavljanje in posodabljanje VGO in načrtovanje ter programiranje ukrepov iz sprejetih načrtov.

### 1.4.4 Kakovost voda

Poleg ustrezne količine vode (kvantitativen pristop) mora imeti voda tudi dovolj dobre lastnosti za uporabo (kakovost). Osnova za analizo kvalitete vode je seveda zahteva, da mora biti voda primerna za predvideni vodnogospodarski namen (vključno s kvaliteto vodnih in obvodnih biotopov). V to področje dela sodijo tako preventivni ukrepi (varstvo voda, vodnega in obvodnega prostora) kot sanacijski ukrepi (raziskovanje in odprava vzrokov onesnaženja), ki naj zagotovijo ustrezno kakovost voda in zmanjšanje onesnaženja voda. Ugotavljanje stanja kakovosti voda temelji tako na stanju vodnih in obvodnih organizmov (vrste, ...), kot tudi s kemijskimi analizami vzorcev vode.

Vsako vodno telo razpolaga z določeno samočistilno sposobnostjo. Biološko samočiščenje z odpadnimi snovmi onesnaženega vodotoka se prične z rastjo gnilobnih organizmov, predvsem beljakovinskih snovi in se zaključi z mineralizacijo. Različne stopnje pri tem procesu označujejo posebne biocenoze t.i. saprobe. Na opazovanju le-teh sloni saprobní sistem Kolkwitz-a in Marsson-a, ki loči posamezne skupine sprob, glede na onesnaženost voda, v katerih se lahko idealno razvijajo. S strokovnim izrazom oligosaprobní se označujejo organizmi, ki jih lahko zasledimo v malo onesnaženih vodah. Mezosaprobní so vodni organizmi, ki jih zasledimo v zmerno ( $\beta$ -mezosaprobní) do močno ( $\alpha$ -mezosaprobní) onesnaženih vodah. Za polisaprobní označimo organizme v močno onesnaženih vodah. Podrobneje to tematiko podajajo predavanja pri drugih predmetih.

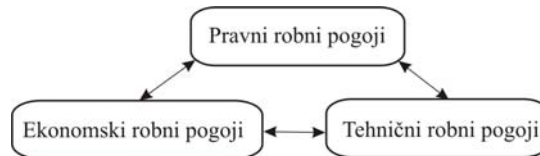


Slika 1-197: Skupna ocena kakovosti površinskih vodotokov v Sloveniji v letu 2000 (Vodno bogastvo Slovenije, 2003)

## 2. SPECIFIČNOST HIDROTEHNIČNIH OBJEKTOV

### 2.1 Splošno

Vsak človekov poseg ali funkcionalno zaključena celota (sistem) deluje v okviru robnih pogojev (glej sliko).



Slika 2-1: Prikaz robnih pogojev delovanja sistema

Za hidrotehnične objekte pa veljajo določene skupne in specifične lastnosti:

- Gradnja jezov je bila primarna gradbena dejavnost. Ko je bila dosežena zadostna stopnja organiziranosti družbe starih civilizacij, je bila možna gradnja velikih vodnogospodarskih objektov (npr. namakanje itd.).
- Ti objekti imajo velik pomen še sedaj - za zagotovitev primerne celostnega gospodarjenja z vodami.
- Unikatnost gradnje - dejavniki hidrologija, geologija, načrtovanje in gradnja - visoko specializirana dejavnost, katere oris podajamo v tem predmetu - povezava več znanstvenih disciplin.
- Statistika pregrad: 35.000 visokih pregrad do leta 1985, ocenjuje se, da je vseh pregrad preko 250.000. Vsako leto je v svetu zgrajenih cca. 1000 novih pregrad.

### Specifičnost hidrotehničnih objektov

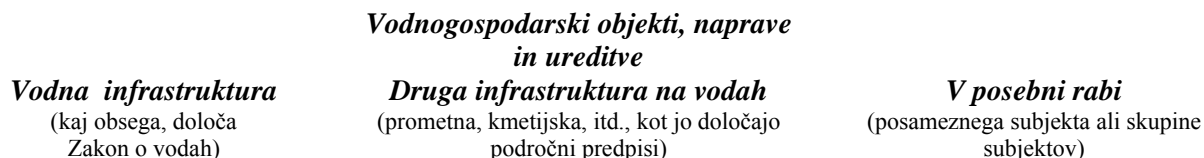
Ločimo objekte, naprave in ureditve ter območja s pravnim režimom. Za hidrotehnične objekte je značilen:

- vpliv zgradbe na vodo in vode na zgradbo
- vpliv objekta na okolje - iskanje kompromisnih rešitev pri umeščanju v prostor
- zelo dragi, potencialno tudi nevarni objekti (zato se zahteva velika varnost), dolgotrajna gradnja, zavzemajo veliko prostora - npr. akumulacija in jih le redko razgradimo,
- vplivajo na transportno sposobnost vodotoka, ipd.



Slika 2-2: Delitev hidrotehničnih objektov glede na namen

Za nadaljnje delo je potrebno, da opredelimo vodnogospodarske objekte, naprave in ureditve še glede na njihov *status*. Iz slike 2 je razvidno, da je uveljavljena osnovna delitev na infrastrukturo ter na objekte v posebni rabi. Pri infrastrukturi pa je mogoča še delitev na različne resorje, saj njihove pristojnosti (glede na primarno rabo) določajo področni zakoni.



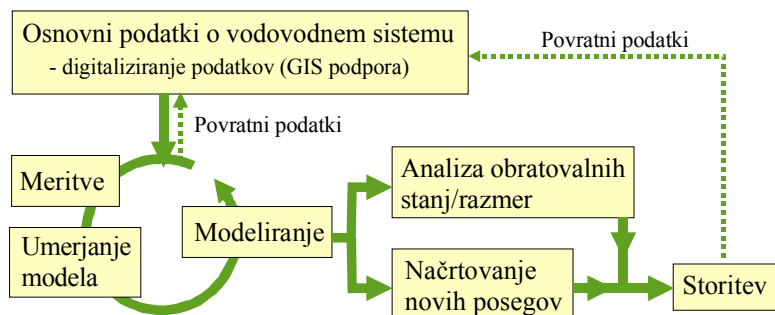
Slika 2-3: Delitev med "infrastrukturo" in "posebno rabo". Primer "cestne infrastrukture na vodah" so npr. lahko prepusti (državna/občinska cesta?), saj so del cestne infrastrukture, ki je hkrati vodnogospodarski objekt.

Tako je pravzaprav možno, da ima lahko ISTI tip vodnogospodarskega objekta, naprave ali ureditve glede na pogoje njegove uporabe različen status. Status nakazuje tudi na obveznosti lastnika (državna ali lokalna infrastruktura, zasebni sektor), ki pa naj bi bile načeloma enake.

#### Delitev glede na področje uporabe:

- zdravstvena hidrotehnika - vodooskrba in zbiranje ter obdelava odpadnih vod,
- agrarna hidrotehnika - drenaža in namakanje,
- vodne moči,
- vodni transporti - transportne poti in pristanišča,
- regulacije rek ter hudournikov - zaščita pred erozijo in visokimi vodami na vodotokih ter zaščita brežin pri stoječih vodah (valovanje!),
- ekološka inženjirika - voda kot biotop, povezava z inženjirskimi posegi.

Za posamezen (npr. vodovodni) sistem je treba obravnavati številne faze v celotnem življenjskem ciklusu sistema oz. objekta.



Slika 2-4: Prikaz procesa modeliranja, analize in načrtovanja

## 2.2 Zajezne zgradbe

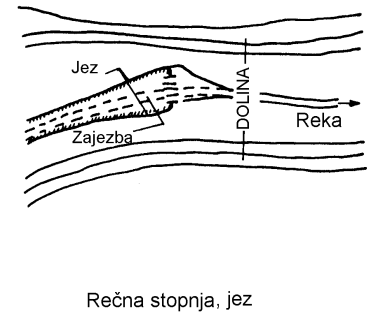
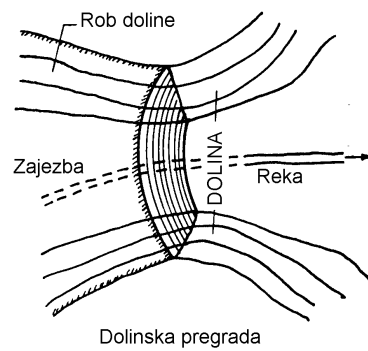
Iz široke palete hidrotehničnih objektov si bomo v nadaljevanju, zaradi omejitev pri obsegu snovi, ogledali le zajezne zgradbe (pregrade, jezove). Problematika, ki bo podana, pa je skupna večini objektov in ureditev in jo je možno v pretežni meri smiselno uporabiti tudi za druge primere.



## Definicija zajeznih zgradb

Zajezne zgradbe obsegajo:

- dolinske pregrade,
- visokovodne zadrževalnike,
- zajezitvene objekte,
- črpalne akumulacije,
- prodne lovilce (bazene),
- prodne pregrade,
- zajezitve (ribniki, bazeni,...).



Slika 2-5: Shematski prikaz dolinske pregrade in jez



Slika 2-6: Zajezitev (Kranjska gora)



Slika 2-7: Zajezitev (Kranjska gora)



Slika 2-5: Pregrada slikana od zgoraj<sup>1</sup>



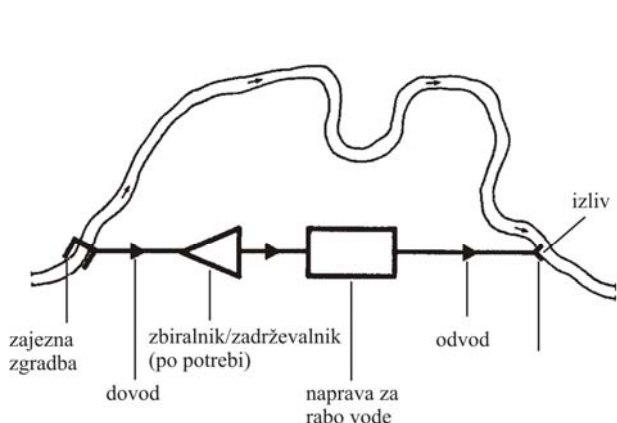
Slika 2-6: Pregrada<sup>2</sup>

Zaradi potreb uporabnika se zgradi vrsta objektov od zajezne zgradbe do izliva. Glede na krivuljo trajanja pretokov (sušno, povprečno, mokro leto) se določi projektni pretok (npr. količina odvzema).

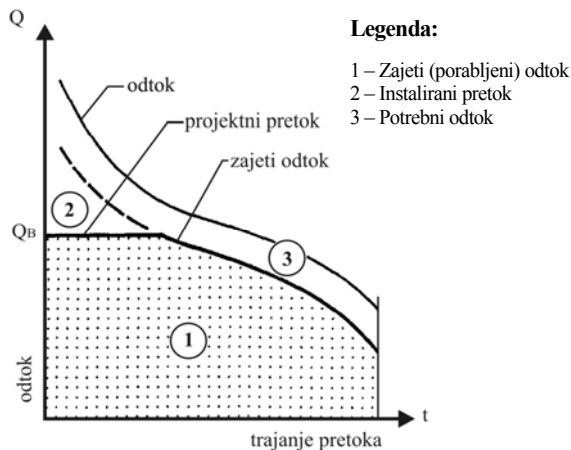
<sup>1</sup> Vir: Wasser wirthshaft

<sup>2</sup> Vir: Wasserwirthschaft



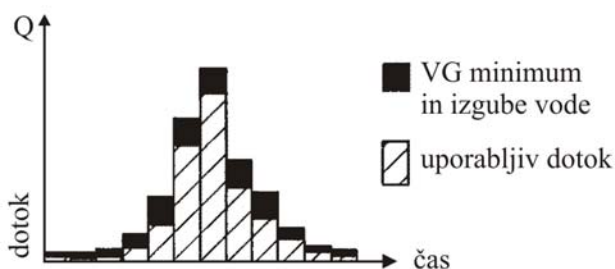


Slika 2-8: Shematski prikaz odvzema vode iz vodotoka

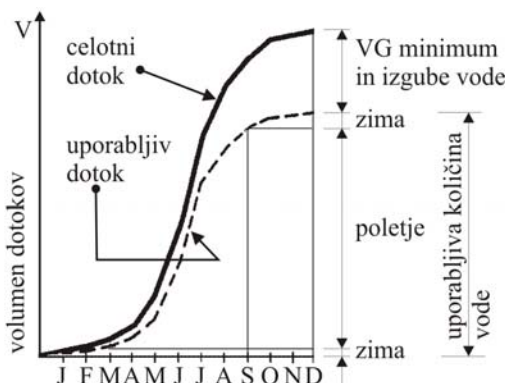


Slika 2-9: Iz krivulje trajanja pretokov se določi vpliv projektnega odvzema ( $Q_{projektni}$ )

V vodotoku mora ostati VG minimum. Ta je enak  $Q_{ES}$ , če med odvzemom in izlivom ni drugih uporabnikov, če pa so, je enak vsoti  $Q_{ES}$  in  $Q_{VP}$  (vseh podeljenih vodnih pravic).



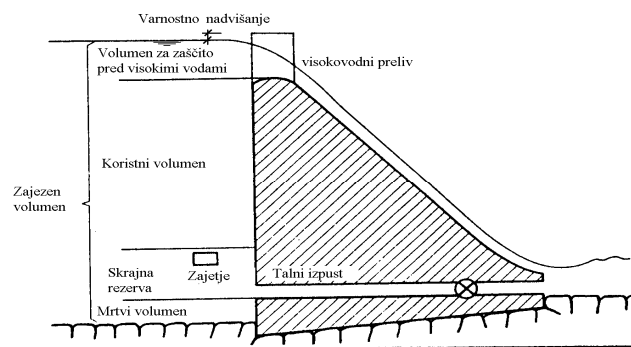
Slika 2-10: Hidrogram poplavnega vala (nekaj ur do nekaj dni)



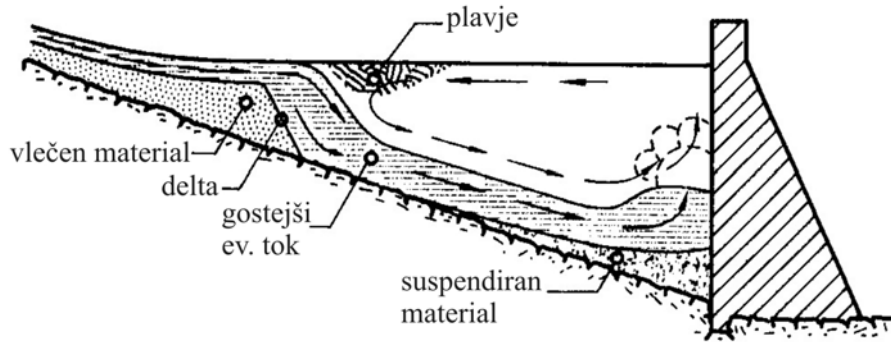
Slika 2-11: Letna vsotna črta pretokov – skupna in uporabljiva količina

Zadrževalniki obsegajo pregrado z ustreznimi objekti, ter prostor (posodo) za vodo, ki je lahko tudi suh (suh zadrževalnik), če se v njem voda zadrži le za nekaj dni, sicer pa je prostor namenjen drugi (prilagojeni) rabi zemljišč, npr. kmetijstvu.

Delitev prostornine v stalno ojezereni akumulaciji je prikazana na naslednji sliki. Opozoriti je potrebno na potrebno varnostno nadvišanje, ki je večje, če je telo pregrade bolj občutljivo na preliivanje.



Slika 2-12: Osnovni volumni akumulacijed



Slika 2-13: Procesi zapolnjevanja prostornine akumulacije s sedimenti

### Nekatere visoke pregrade v Sloveniji (pri hidroelektrarnah)

Mednarodna definicija visoke pregrade uporablja naslednje kriterije:

- višina pregrade od temelja do krone  $> 15$  m ali
- višina pregrade od temelja do krone  $> 10$  m, krona daljša od 500 m ali
- volumen akumulacije za pregrado  $> 1.000.000 \text{ m}^3 = 10^6 \text{ m}^3$  ali
- kapaciteta prelivov  $> 2000 \text{ m}^3/\text{s}$  ali
- neobičajna gradnja (unikatnost).

**Preglednica 2-1:** Pomembnejše zaježitve hidroelektrarn v Sloveniji

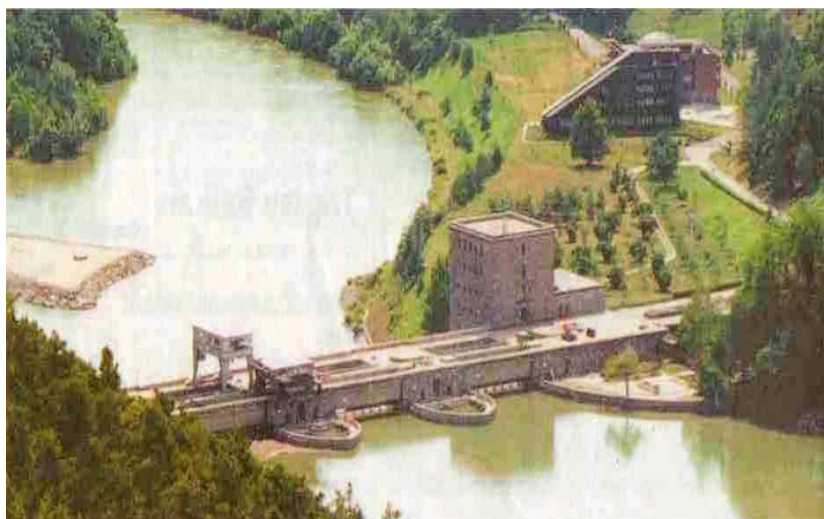
reka	ime	tip elektrarne	$H_{\text{bruto}}$ (m)	$L_{\text{krona}}$ (m)	$V_{\text{akum.}}$ ( $10^6 \text{ m}^3$ )	$Q_{\text{max.}}$ ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
DRAVA	Dravograd	rečna	9,0	~150	7,0	
	Vuzenica	rečna	13,7	~150	14,2	
	Vuhred	rečna	17,4	~110	19,4	
	Ožbalt	rečna	17,4	~200	13,3	
	Fala	rečna	14,6	~200	2,9	
	Marib.otok	rečna	14,2	~150	18,8	
	Zlatoličje	derivacijska	33,0	~140	4,6	4200
	Formin	derivacijska	29,0	~120	4,2*	4600
	(Golica)	pregradna	735,5	~300	16,2	8
SAVA	Moste	pregradna	68,0		7,86	570
	Mavčiče	rečna	17,0		10,7	2200
	Medvode	rečna	21,2		7,0	2200
	Vrhovo	rečna				
SOČA	Doblar	pregradna	45,5	~50	5,8	
	Plave	derivacijska	24,9	~75	1,65	
	Ajba	derivacijska	11,5	jez	HE Plave	
	Solkan	rečna	20,7	~100	7,6	

\* pri denivelaciji 1m

Poleg naštetih objektov je v Sloveniji še cca 15 zadrževalnikov, ki po zgoraj naštetih definicijah tudi spadajo med visoke pregrade.



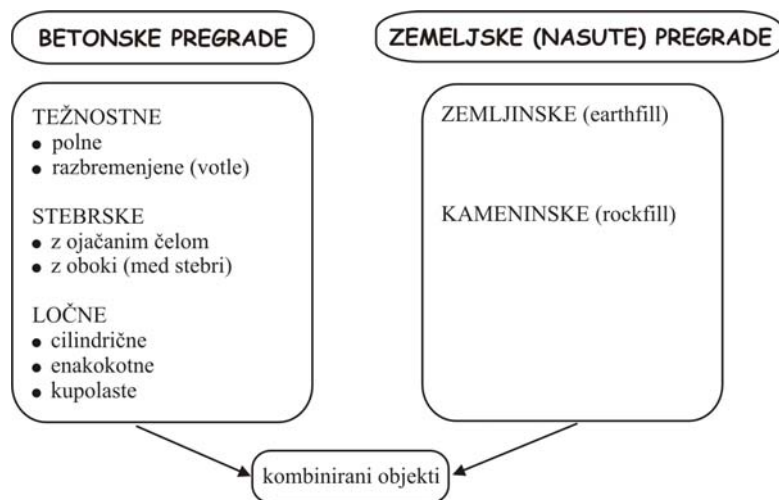
Slika 2-12: Hidroelektrarna Solkan, 1985<sup>3</sup>



Slika 2-13: Elektrarna Mariborski otok in poslovna stavba Dravskih elektrarn<sup>4</sup>

### Delitev pregrad

Možne so različne delitve, zato si oglejmo le osnovno, glede na izvedbo, oziroma na način prevzemanja vodnih pritiskov.

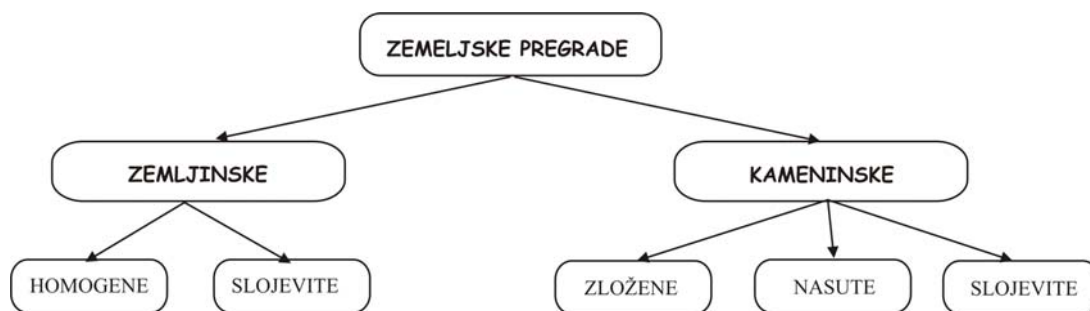


Slika 2-14: Delitev pregrad glede na njihovo zgradbo

<sup>3</sup> Vir: Primorje

<sup>4</sup> Vir: foto: Sašo Bizjak

Zemeljske pregrade lahko pregledno razdelimo še po naslednji shemi:



Slika 2-15: Delitev zemeljskih pregrad

Osnovna delitev glede na geološke razmere upošteva tako možne posedke v tleh, kot velikost (obsežnost) objekta.



Slika 2-16: Primernost posameznih tipov pregrad glede na nosilnost tal

Pri izbiri vrste pregrade se globalno lahko držimo naslednje razdelitve pri odločanju za posamezno vrsto pregrade:

- ZEMELJSKE – ZEMLJINSKE so primerne za kamnita ali zemeljska temeljna tla, prenašajo omejene diferenčne posedke zaradi relativno širokega in plastičnega jedra, potrebne so ločitvene plasti, nizki pritiski na temeljna tla, potrebne so velike količine različnega materiala;
- ZEMELJSKE – KAMNINSKE so primernejše za kamnita temeljna tla različne kvalitete, lahko delno preperena, potrebne so številne ločitvene plasti, relativno nezahtevno vgrajevanje, potrebne so velike količine različnega materiala;
- BETONSKE – TEŽNOSTNE so primerne za široke doline, izkop je plitvejši, od 5 do 10 m, lahko delno preperena skala, preveriti geološke diskontinuitete, nizki kontaktni pritiski, porabimo precej cementa;
- BETONSKE – STEBERSKE lastnosti podobno kot težnostne, višje kontaktne napetosti zahtevajo trdno skalo, prihranek cementa v primerjavi z težnostnimi je 40 do 60%;
- BETONSKE – LOČNE so primerne za ozke soteske, enotna čvrsta skala velike trdnosti in majhnih deformacij temeljev in brežin, velika obtežba na brežine, prihranek cementa v primerjavi z težnostnimi je 50 do 85%.





Slika 2-17: Pregrada

Slika 2-14: Kamena pregrada v kanjonu Badnjevice<sup>5</sup>

Slika 2-15: Pregrada Malpasset



Slika 2-16: Pregrada Malpasset – porušena ločna pregrada

Zaradi potencialne nevarnosti, ki jih visoke pregrade vedno predstavljajo, spremlja razmere in dogodke na njih mednarodno društvo za visoke pregrade (ICOLD - International Commission on Large Dams), oziroma enako društvo v RS (SLO COLD).

**Preglednica 2-2: Velike pregrade: Svetovni statistični register (ICOLD 1984)**

Skupina	Tip	ICOLD koda	Število	Procent
zemeljske pregrade	zemljinske	TE	28845	82.9
	kameninske	ER		
zidane pregrade	težnostne	PG	3953	11.3
	ločne	VA	1527	4.4
	steberske	CB	337	1.0
	večločne	MV	136	0.4

<sup>5</sup> Vir: [www.destinacije.com](http://www.destinacije.com)

**Preglednica 2-3:** Najvišje pregrade - 50 jezov je višjih od 200 m (po Mermelu 1988)

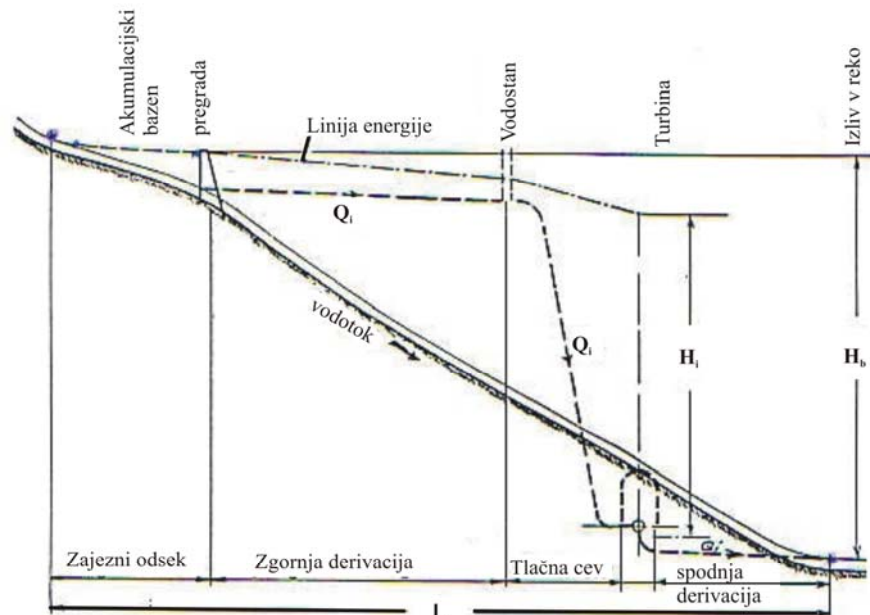
Pregrada	Država	Tip	Zgrajena	Višina (m)
Rogun	Rusija	TE/ER	1989	335
Nurek	Rusija	TE	1980	300
Grand Dixence	Švica	PG	1962	285
Inguri	Rusija	VA	1980	272
Vaiont	Italija	VA	1961	262

**Preglednica 2-4:** Pregrade z največjim volumnom (po Mermelu 1988)

Pregrada	Država	Tip	Višina (m)	Zgrajena	Volumen pregrade ( $\times 10^6 \text{ m}^3$ )
Chapeton	Argentina	TE/PG	35	(1996)	296.2
Pati	Argentina	TE/PG	36	(1990)	238.2
Tarabela	Pakistan	TE/PG	143	1976	105.9
Fort Peck	ZDA	TE	76	1937	96.1
Lower Usuma	Nigerija	TE	49	(1990)	93.0
23 pregrad ima volumen večji od $50 \times 10^6 \text{ m}^3$					

**Preglednica 2-5:** Pregrade z največjim volumnom rezervoarja ( $20 \text{ rez.} > 50 \times 10^9 \text{ m}^3$ ) (po Mermelu 1988)

Pregrada	Država	Tip	Višina (m)	Zgrajena	Volumen rezervoarja ( $\times 10^9 \text{ m}^3$ )
Owen Falls	Uganda	PG	31	1954	2700.0
Kariba	Zimbabve	VA	128	1959	180.6
Bratsk	Rusija	TE/PG	125	1964	169.3
Aswan High	Egipt	TE/ER	111	1970	168.9
Akosombo	Gana	TE/ER	134	1965	148.0



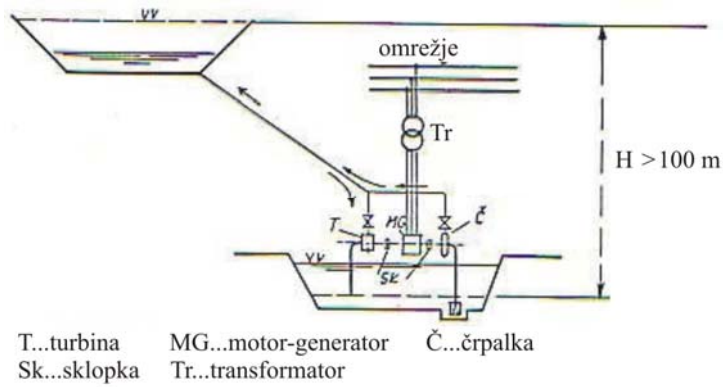
L...Izrabljeni (koncesionirani) odsek reke (km)

$Q_i$ ...Instalirana vodna količina ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

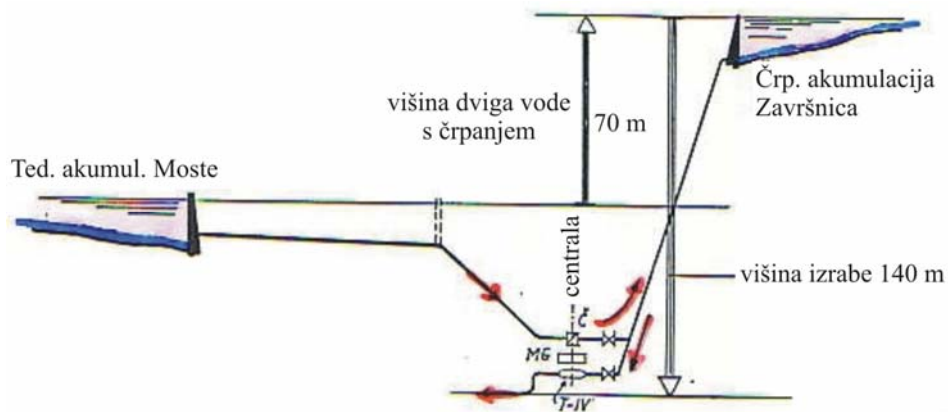
$H_i$ ...Instalirani padec centrale (m)

KONCESIJE !

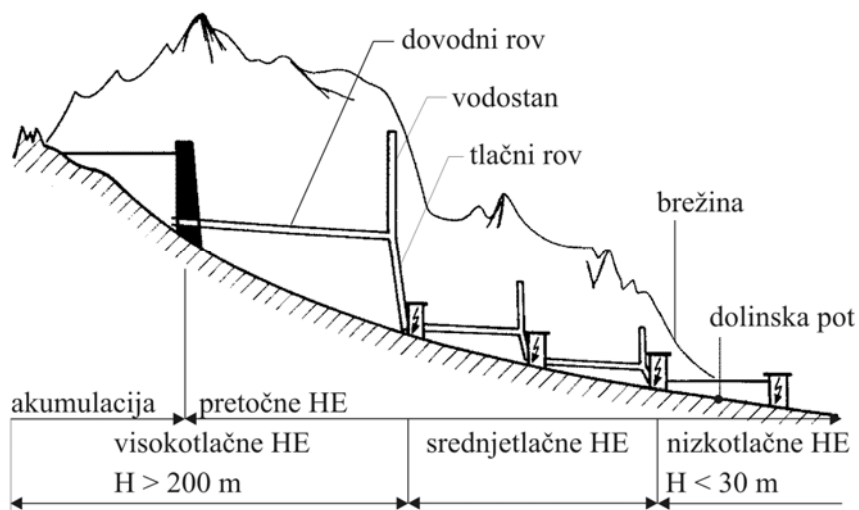
Slika 2-18: Osnovni parametri hidroenergetske izrabe vodne sile vodotoka



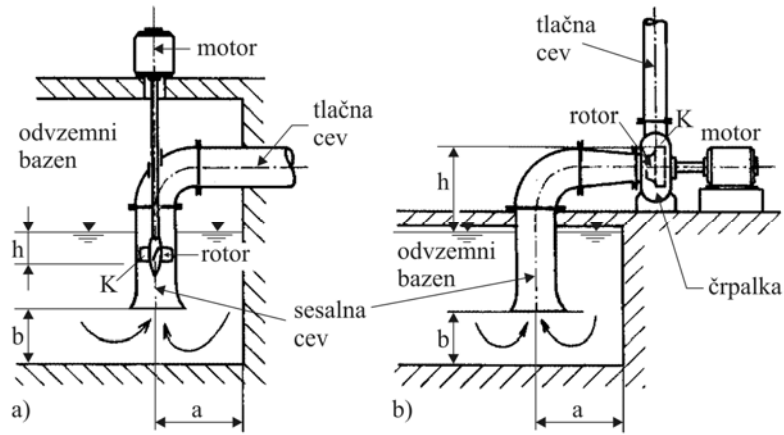
Slika 2-19: Shematski prikaz ureditve centrale s črpalno akumulacijo



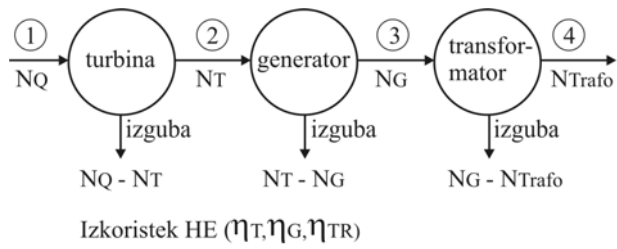
Slika 2-20: Primer kombinacije centrale s tedensko akumulacijo in centrale s črpalno akumulacijo v Mostah



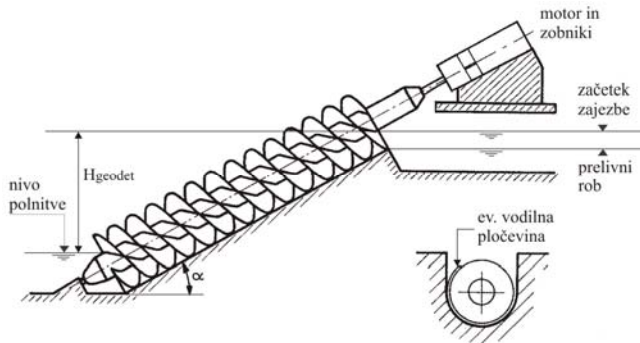
Slika 2-21: Različni tipi HE v verigi



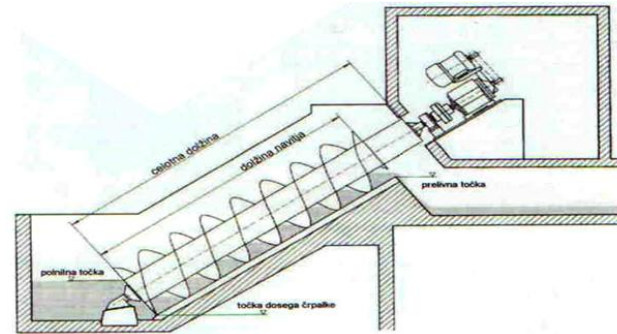
Slika 2-22: Propelerska in centrifugalna črpalka



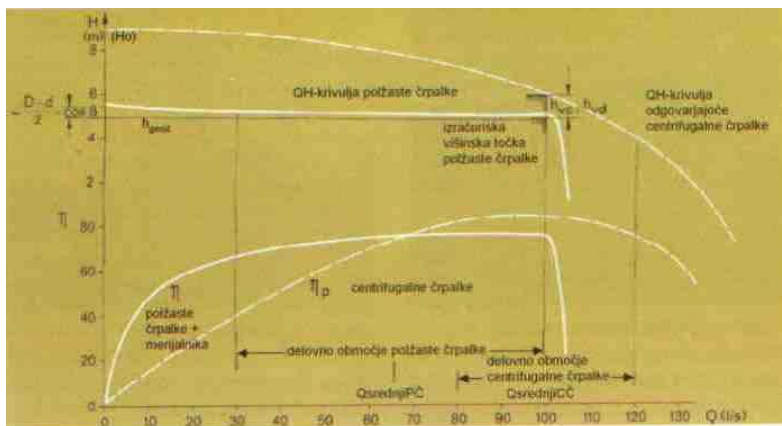
Slika 2-23: Skupni izkoristek sistema je produkt delnih izkoristkov



Slika 2-20: Polžna črpalka



Slika 2-21: Polžna črpalka

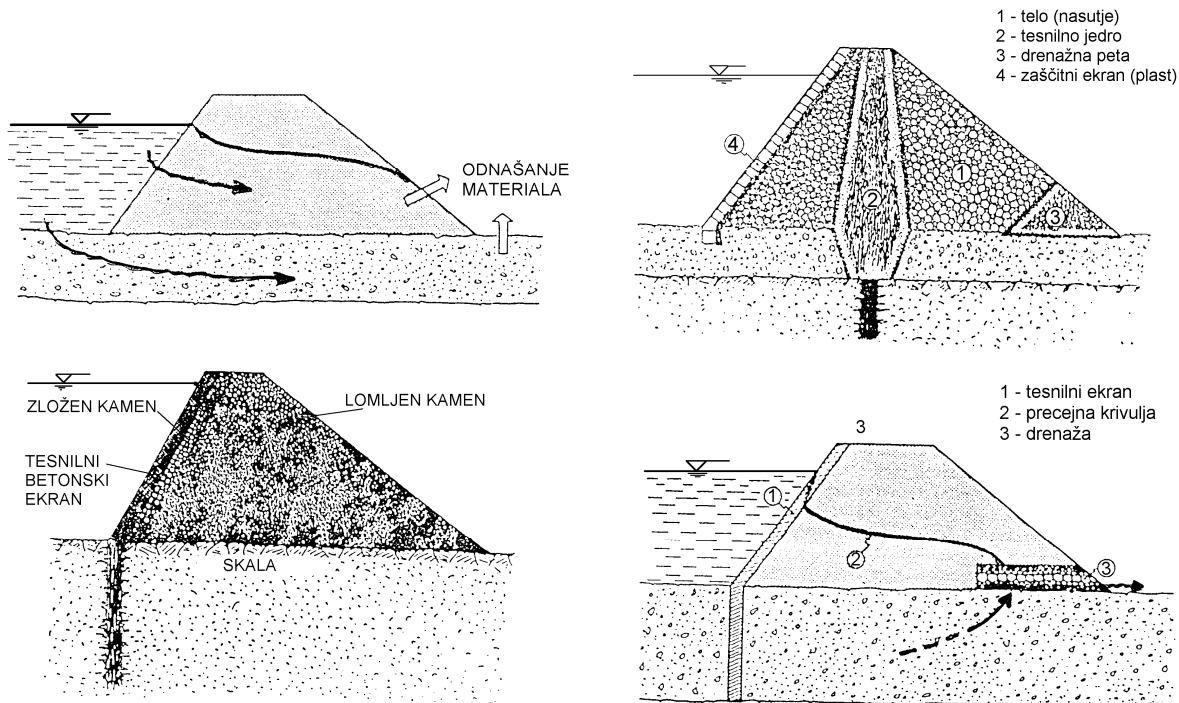


Slika 2-22: Primerjava karakteristik črpanja centrifugalne ter polžaste črpalke (Gradbeni vestnik, letnik 56, avgust 2007, str. 200)

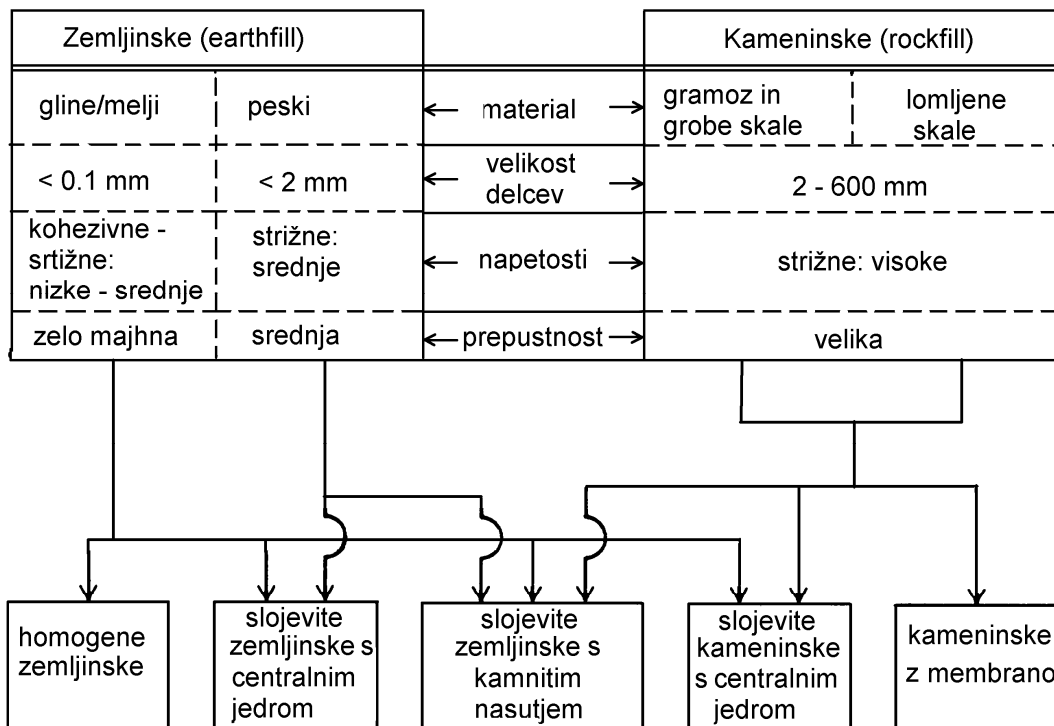


## 2.3 Zemeljske pregrade

Lahko jih delimo na homogene in slojevite pregrade. V slednjih je tesnitev dosežena z vgrajevanjem neprepustnega jedra in spremljajočih plasti (filtri, gorvodna zaščitna plast, dilatacije...).



Slika 2-24: Osnovni elementi zemeljskih pregrad



Slika 2-25: Razdelitev zemeljskih pregrad

## Vrste in značilnosti zemeljskih pregrad

**Definicija:** so pregrade, konstruirane iz naravnih materialov, izkopanih v bližini gradbišča. Razpoložljivi materiali so uporabljeni na najboljši možni način glede na njihove fizikalne lastnosti. Naravni materiali so vgrajeni oziroma komprimirani brez dodatka veznega sredstva, z uporabo visoko sposobne strojne opreme.

**Delitev na zemljinske in kamninske:** če je več kot 50% zemljine - zemljinske drugače kamninske.

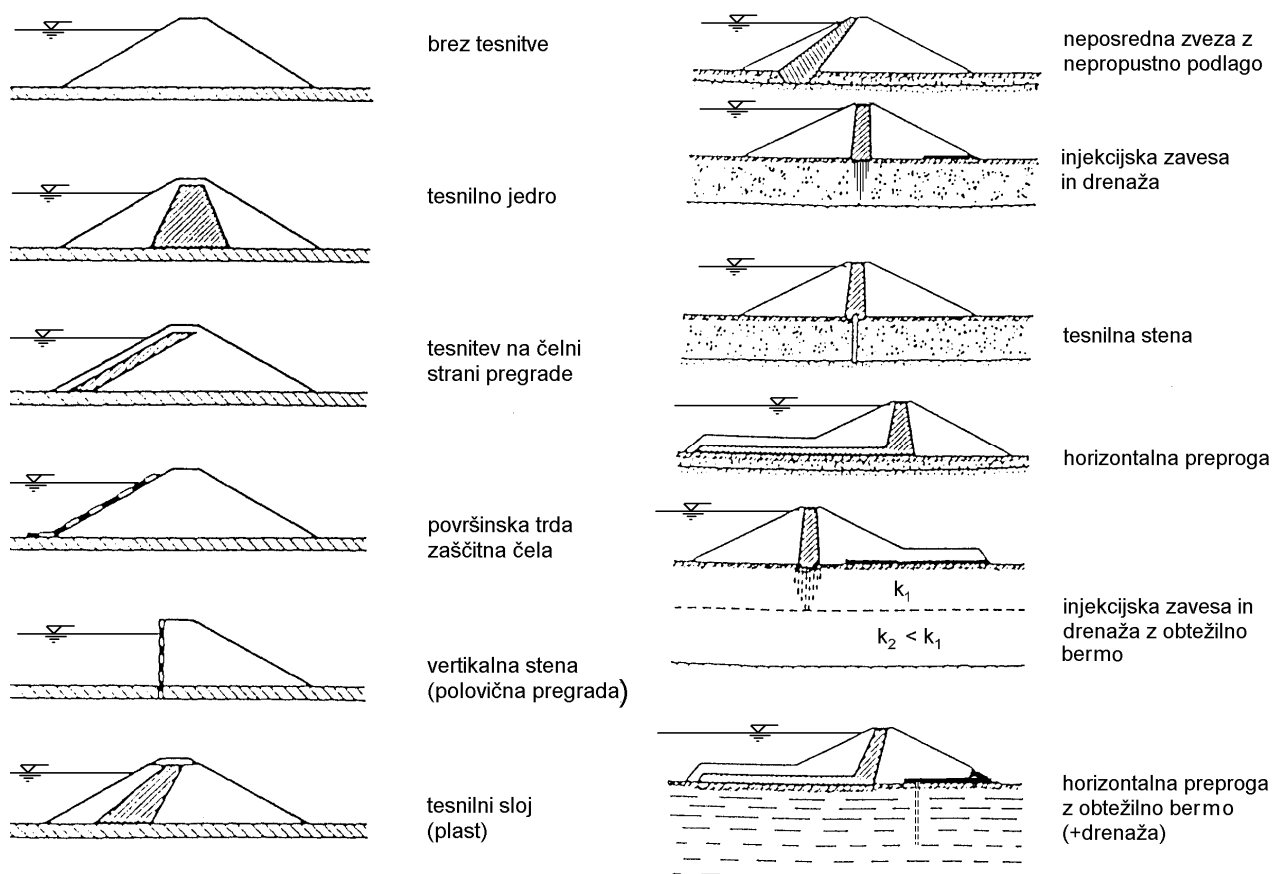
**Prednosti kamninskih pregrad:** ni potrebno intenzivno komprimiranje, večji strižni kot in s tem manjše dimenzije pregrade, ni pojava pornih tlakov na zračni strani.

**Prednosti zemeljskih pregrad:**

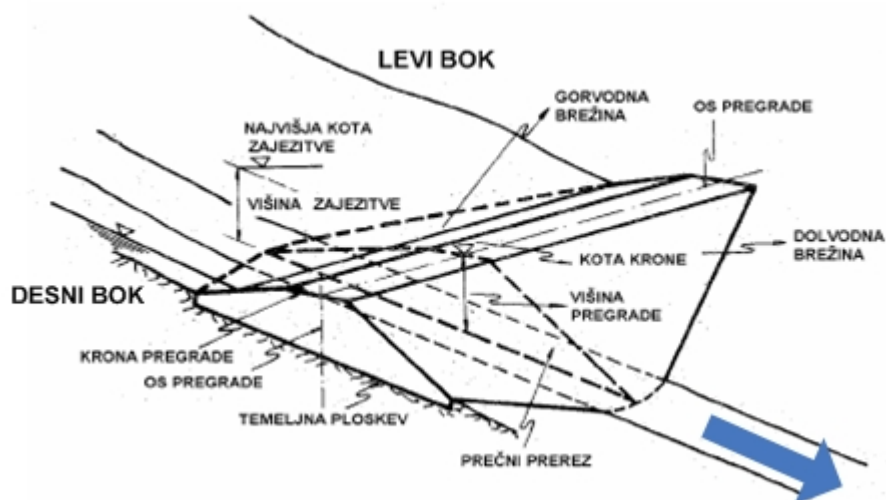
- primernost za zaježitev širokih dolin,
- prilagodljivost na različne pogoje temeljenja,
- uporaba naravnih materialov (iz bližnjih nahajališč),
- v pregrado je mogoče glede na danosti in potrebe vgraditi zelo različne materiale,
- zelo mehaniziran proces gradnje in zelo kontinuiran,
- izhajajoč iz točke 5 so stroški gradnje relativno manjši v primerjavi z betonskimi pregradami.

**Slabosti:**

- večja možnost porušitve, v primeru prelivanja visokih voda, kot pri zidanih pregradah,
- nevarnost pronicanja skozi telo pregrade in notranje erozije je večja kot pri zidanih pregradah.



Slika 2-26: Načini tesnjenja zemeljskih pregrad na prepustni in neprepustni podlagi

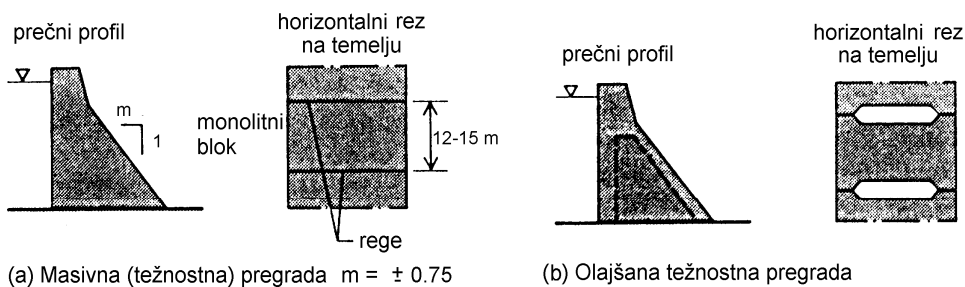
Slika 2-24: Osnovni elementi zemeljske pregrade<sup>6</sup>

## 2.4 Betonske pregrade

Te pregrade so v celoti nadomestile zidane pregrade (iz velikih, tudi do 10 ton težkih skal). Od leta 1950 se betonu dodajajo še različni dodatki (žlindra, pepel), da bi odpravili težave z odvečno toploto pri vezavi betona oziroma, da bi zmanjšali stroške za agregat.

Glede na način prevzema vodnih pritiskov poznamo:

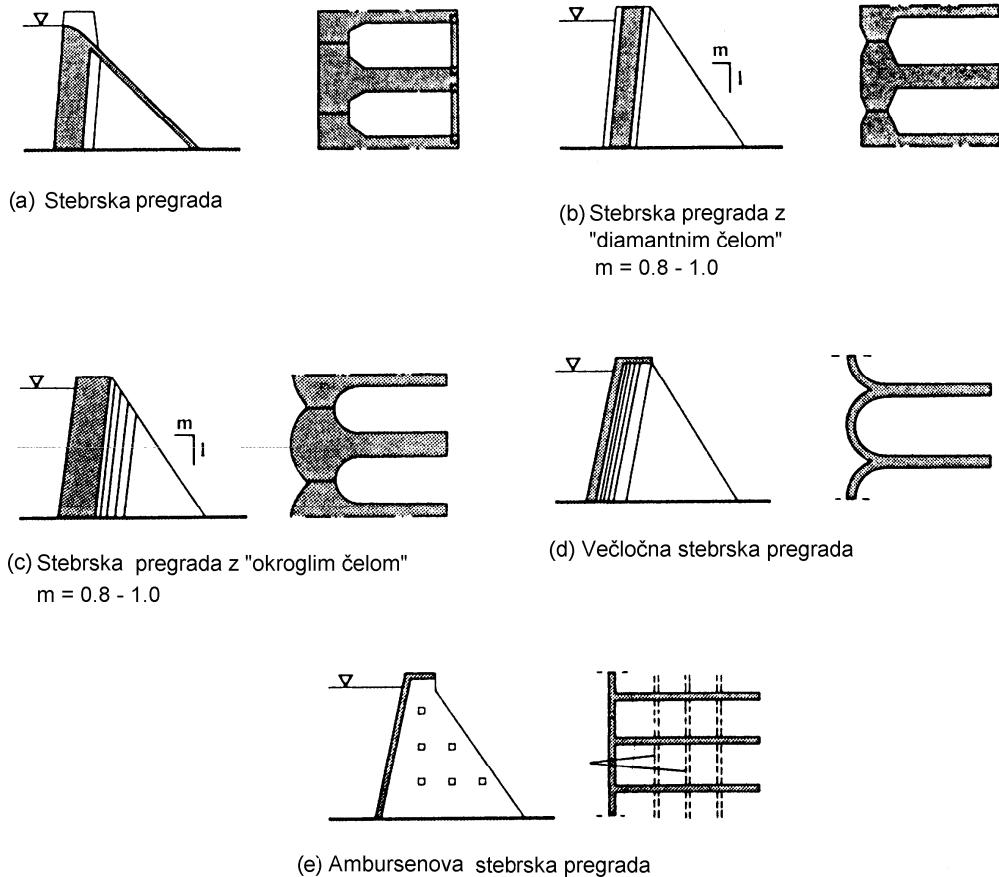
- **Težnostne pregrade**; velika lastna teža zagotovi stabilnost (včasih so lahko razbremenjene - votla konstrukcija), V osnovi so trikotne, včasih z zakrivljeno osjo, lahko iz estetskih razlogov, lahko pa se tako prenaša tudi del obtežbe. Takrat govorimo o ločno-težnostnih pregradah.



Slika 2-27: Shematski prikaz težnostne pregrade

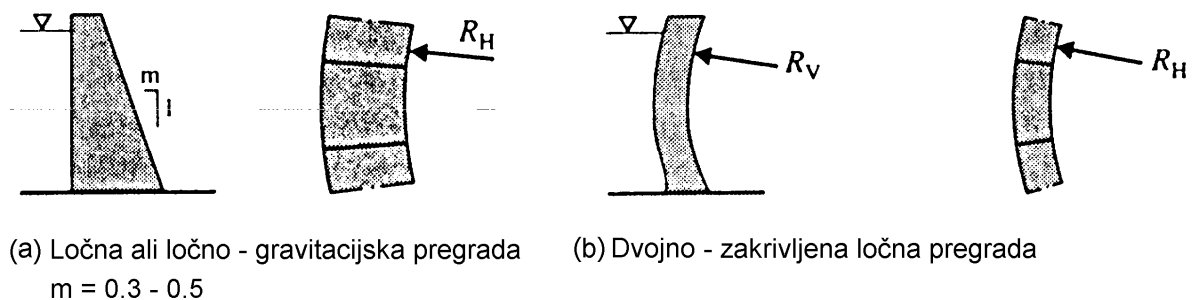
- **Steberske pregrade**; konstrukcijski koncept pregrade je sestavljen iz kontinuirane čelne stene in stebrov, ki jo podpirajo na enakomernih razmakih. Čelna stena je lahko ravna ali zaobljena, kot del stebra ali samostojni element. Te pregrade lahko iz konceptualnega vidika smatramo tudi kot olajšane težnostne pregrade.

<sup>6</sup> Vir: [www.fgg.uni-lj.si/kmtal](http://www.fgg.uni-lj.si/kmtal)



Slika 2-28: Shematski prikaz različnih tipov stebrskih pregrad

- **Ločne pregrade;** os pregrade ima opazno gorvodno zakrivljenost in deluje konstruktivno kot horizontalni lok pri čemer prenaša obtežbo bolj na boke doline kot na dno. Poznamo enojno zakrivljene, enakokotne in dvojno zakrivljene ločne pregrade. pri ločnih pregradah je odločilnega pomena stabilnost (nosilnost) brežin v katere se pregrada opira (Slika 1-9).



Slika 2-29: Shematski prikaz ločne pregrade

- **Ostale betonske pregrade;** Obstaja večje število manj pogostih variant betonskih pregrad, kot npr. votla težnostna, Ambursenova, večločna, itd. Konstruktivna zasnova teh pregrad je običajno kombinacija konstruktivnih zasnov prvih treh vrst.

## Lastnosti betonskih pregrad

Prednosti betonskih pregrad:

- Primerne za bolj ozke doline podobne soteskam s primerno nosilno podlago,
- niso občutljive na prelivanje (pri izjemno visokih vodah),
- možno je urediti preliv preko krone pregrade,
- izpusti, ventili, zajetja in ostale inštalacije so lahko vgrajene v telo pregrade,
- sposobnost prenašanja potresne obtežbe brez katastrofalne porušitve je relativno visoka.

Posamezne vrste betonskih pregrad se ločijo glede na sistem prenosa obtežbe. Tako so npr. pri stebrasti pregradi večji lokalni pritiski na temeljna tla pod stebri kot pri težnostni, kar torej pogojuje izbor vrste pregrade glede na nosilnost temeljnih tal.

Podobno zahtevajo ločne pregrade neprimerno večjo nosilnost brežin.

Slabosti v primerjavi z zemeljskimi pregradami:

- Bet. pregrade zahtevajo dobro podlago za temeljenje - čvrsto skalo.
- Za bet. pregrade potrebujemo obdelan naravni material določene kvalitete in količine ter dovoz in shranjevanje velikih količin cementa.
- Običajno so te pregrade delovno intenzivne, gradnja pa je precej nekontinuirana.
- Običajno je zato cena kubičnega metra vgrajenega v pregrado mnogo višja kot pri zemeljskih pregradah, kar le redko cenovno odtehta sicer manjši potrebni volumen pregrade.

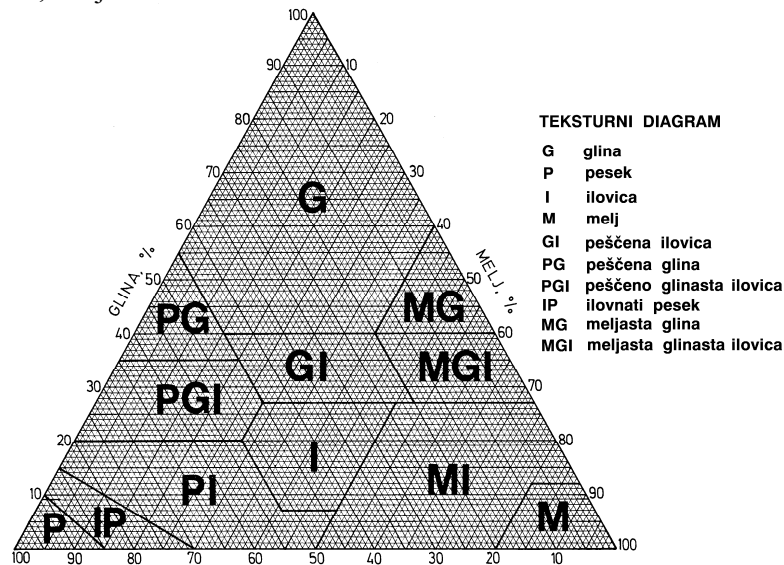
## 3. NAČRTOVANJE PREGRAD

### 3.1 Načrtovanje zemeljskih pregrad

#### 3.1.1 Vrste in lastnosti materialov primernih za zemeljske pregrade

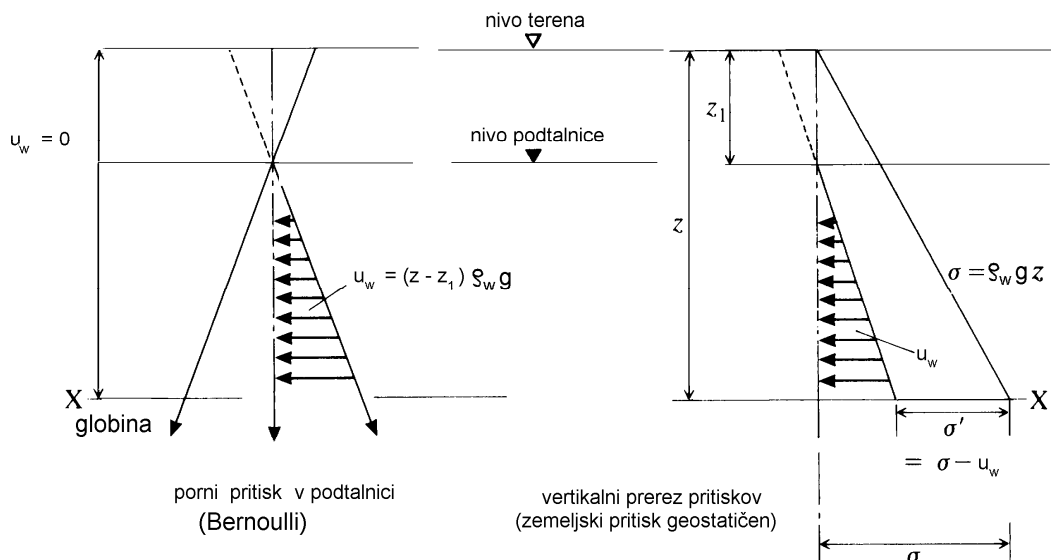
Pri obravnavi tega poglavja je privzeto da bralec do določene mere pozna mehaniko tal in uporabno geologijo. Zato so podane le oporne točke:

- razlika med zemljinami in kamnitim drobirjem
- nastanek anorganskih zemljin (teksturni diagram slika 3-1)
  - iz kemično nestabilnih kamenin - postopen nastanek dvodimenzionalnih mineralnih ploščic - glin
  - iz kemično stabilnih kamenin - samo fizikalen razpad (zmrzovanje, erozija...) - gramoz, pesek, melj



Slika 3-1: Teksturni diagram

- meja plastičnosti, meja židkosti
- faze v zemljini: trdna, tekoča, plinasta



Slika 3-2: Porni pritiski v zemljini s podtalnico

Porni pritisk pod vodno gladino (podtalnice) zmanjšuje kontaktni tlak in s tem povzroča zmanjšanje efektivnega pritiska zemljine. Efektivni pritisk zemljine je tedaj manjši od polnega pritiska zemljine za količino ekvivalentno vrednosti pornega pritiska. Tako je vrednost efektivnega pritiska:

$$\sigma' = \sigma - u_w$$

kjer je:

- $\sigma'$  geostatični tlak
- $u_w$  porni tlak.

Sprememba pornega pritiska je praviloma reakcija na dodano obtežbo (v telo pregrade, v temeljna tla). S spremembo pornega pritiska se spremeni tudi maksimalna mobilizirana strižna napetost v zemljini (porušitev):

polni pritisk zemljine:	$\tau_f = c + \sigma_n \cdot \tan \varphi$
efektivni pritisk zemljine:	$\tau_f = c' + \sigma'_n \cdot \tan \varphi'$

kjer je:

- $c$  kohezija
- $\varphi$  strižni kot
- $\sigma$  normalna napetost.

e) stisljivost in konsolidacija - vzrok za posedke so trije procesi:

- elastična deformacija delcev zemljine
- stisljivost pornih tekočin (zraka in vode)
- iztiskanje pornih tekočin iz obremenjenega področja, s prerazporeditvijo delcev

f) prepustnost zemljine: običajno velja Darcy-ev zakon:

$$v = -k \cdot \text{grad } i$$



Slika 3-2: Pregrada Streževo<sup>1</sup>



Slika 3-3: Vodna stran zemeljske pregrade Mola<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Vir: <http://slocold.ibe.si>

<sup>2</sup> Vir: <http://slocold.ibe.si>



### 3.1.2 Strižna odpornost zemljine

Kot strižna odpornost zemljine je definiran največji upor strižnim napetostim, ki ga zemljina lahko mobilizira. Ko je ta vrednost presežena, se struktura podre, običajno vzdolž prepoznavne strižne ploskve. Strižno odpornost karakteriziramo z dvema parametroma:

- kohezija,  $c$ , ki nastane zaradi električnih sil, ki vežejo glinene delce; in
- kota strižne odpornosti,  $\varphi$ , ki nastane zaradi trenjskega upora in medsebojnega zagodenja delcev.

Strižno odpornost zemljine v točki na ravnini lahko izrazimo kot linearno funkcijo normalne napetosti,  $\sigma_n$ , z uporabo Mohr-Coulomb-ovega kriterija zdrsa:

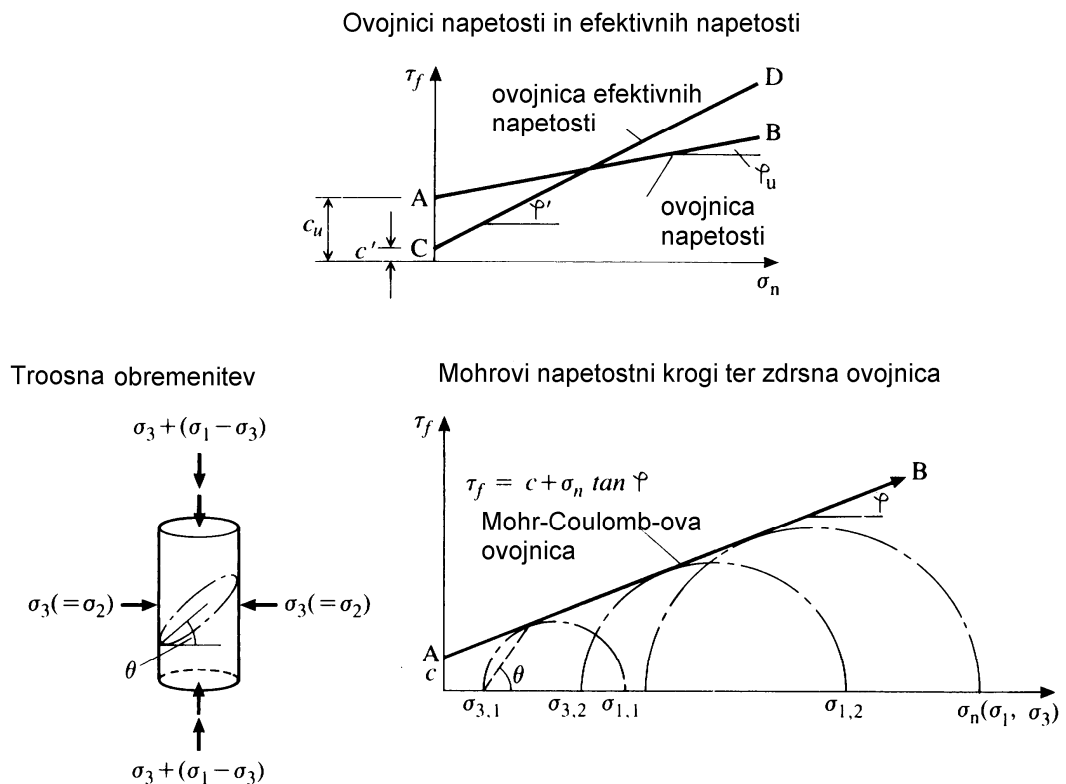
$$\tau_f = c + \sigma_n \cdot \tan \varphi,$$

kjer je  $\tau_f$  strižna napetost ob zdrsu.

Kot že omenjeno, je strižna odpornost zemljine bolj odvisna od efektivne (medzrnske) normalne napetosti kot od totalnih napetosti in tako dobimo Coulombovo enačbo v obliki:

$$\tau_f = c' + \sigma'_n \cdot \tan \varphi',$$

kjer sta  $c'$  in  $\varphi'$  parametra strižne odpornosti izražena v obliki za efektivne napetosti in  $\sigma'$  efektivna normalna napetost (upoštevani so porni pritiski).



Slika 3-3: Ovojnice porušnih napetosti in Mohr-Coulombov kriterij

### 3.1.3 Komprimiranje zemljine

Komprimacija je proces zgoščevanja s tem, da odstranjujemo zrak iz zemljine. To ni proces konsolidacije, kjer gre za postopno odstranjevanje vode iz zemljine.

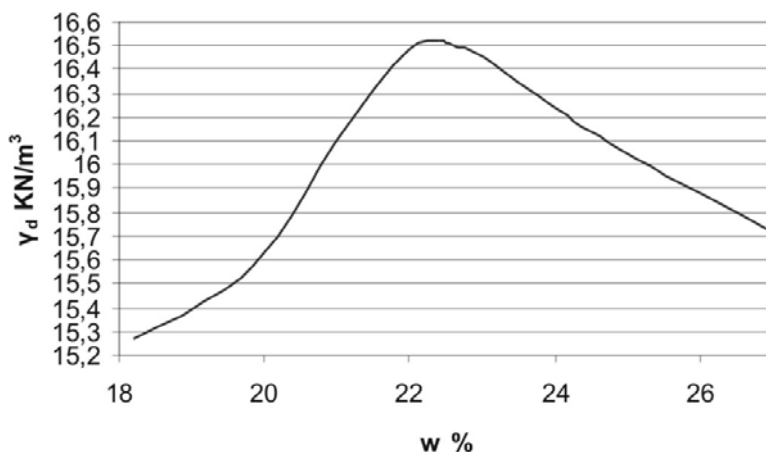
Stopnja komprimiranja (suha gostota):  $\rho_d = \rho / (1 + w)$ ,

kjer je:

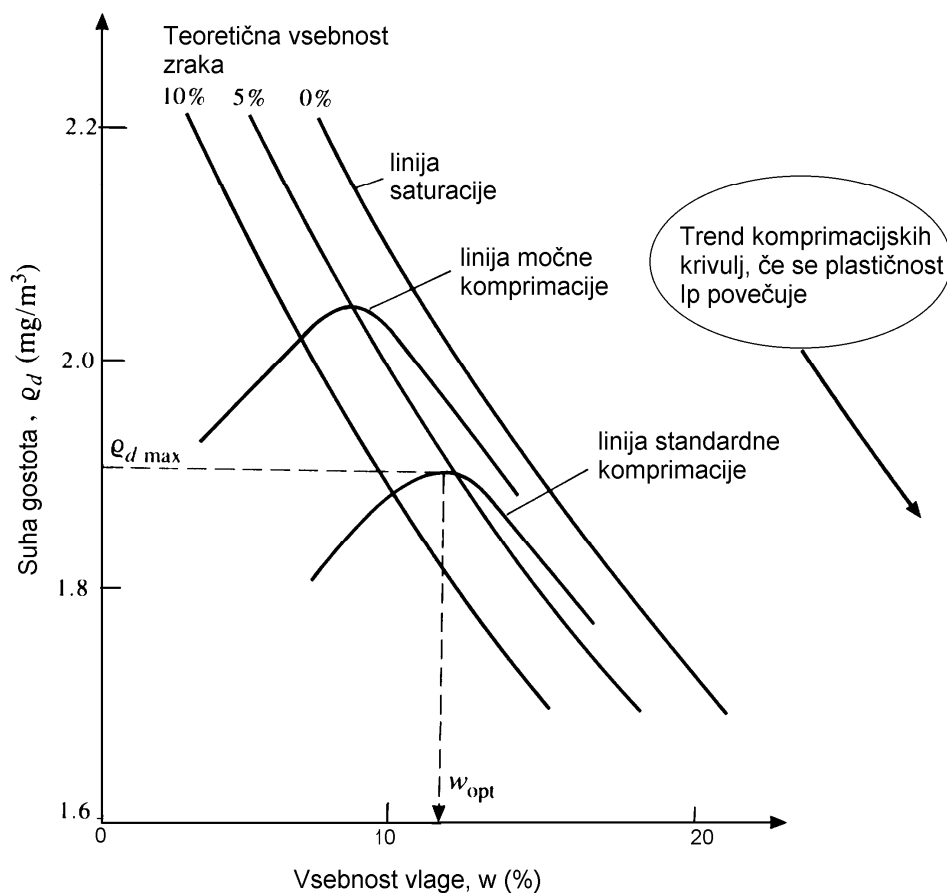
$\rho$  gostota in situ (v naravnem stanju)

$w$  vlažnost.

Sloje komprimiramo v debelini 150 - 250 mm.



Slika 3-4: Proctorjev preizkus



Slika 3-5: Razmerje med dejavniki, ki vplivajo na komprimacijo

Komprimiranje povzroči spremembo večine karakteristik zemljine:

- strižne trdnosti (največje, dolgoročne vrednosti dosežemo pri nekoliko višji vlažnosti od  $w_{opt}$ !)
- stisljivost (večja stopnja zgoščevanja zmanjša posedke)
- sprememba volumna (glede na vsebnost vlage ob komprimiranju)
- prepustnost zemljine (manjša pri večjem zgoščevanju. Le pri kohezivnih materialih je še dodaten vpliv narave in strukture por)

### 3.1.4 Osnovna načela projektiranja zemeljskih pregrad

Pri projektiranju zemeljskih pregrad moramo biti posebej pozorni na naslednje:

- *Prelivanje krone pregrade in varnostno višino:* preliv visokih voda in odvodnik morata imeti zadostno kapaciteto tudi za izjemne razmere. Varnostna višina mora biti dovolj velika, da prepreči prelivanje zaradi valov, vanjo mora biti vključena tudi višina zaradi predvidenega posedanja pregrade.
- *Stabilnost:* pregrada in njeni temelji morajo biti dimenzionirani tako, da zagotovijo stabilnost konstrukcije (brežine, temeljna tla, telo pregrade) v vseh pogojih obratovanja (čas gradnje, različna stanja po izgradnji).
- *Kontrola pronicanja:* pronicanje skozi in pod pregrado mora biti omejeno v taki meri, da ne povzroča sufozije in regresivne erozije. Hidravlični gradient, pronicevalni pritiski in hitrosti morajo biti torej v mejah, ki jih dani material še lahko prenese.
- *Zaščita vodne strani:* Vodna stran mora biti zaščitena pred zunanjimi vplivi (valovi, led...).
- *Iztok in drugi objekti:* Izток in drugi objekti skozi telo pregrade morajo biti konstruirani tako, da je preprečeno pronicanje vode ob objektu oziroma vzdolž preboja tesnilnih plasti.

Posledice zaradi neupoštevanja navedenih postavk so prikazane na naslednjih slikah.

### 3.1.5 Materiali in gradnja

Za vgrajevanje običajnih treh elementov zemeljske pregrade potrebujemo 3 tipične kategorije materialov.

#### a) Jedro

Za tesnilni element potrebujemo slabo prepusten material, ki ima srednjo ali visoko plastičnost, da se ne pojavi razpokanost jedra. Najbolje je, če je delež gline 25-30%, vgrajevati pa je možno tudi peščeno glino in melje. Vgradnja glinastih jeder je običajno vprašljiva pri zahtevah za dolgotrajnejšo vodotesnost.

#### b) Telo

Vgrajeni materiali naj imajo dovolj visok strižni kot, da je možno graditi ekonomično, t.j. pri najvišjih naklonih, s še vedno stabilnimi brežinami. Material je lahko heterogen, kot je pač na volj v bližini. Zaželeno je, da ima dovolj veliko prepustnost, da se lahko porni tlaki učinkovito porazdelijo.

#### c) Drenaža/filter

Uporabljen material naj bo čist in kemično obstojen. Primerni so fini naravni prod, lomljenec in grob do srednji pesek. Zaradi zahtevnosti (filtrsko pravilo!) je ta element drag, zato morajo biti njegove dimenzije racionalne (zmanjšane na najmanjšo sprejemljivo mejo).



Slika 3-6: Korito, drenažna cev, geotekstil na prekop in rečni gramoz<sup>3</sup> Slika 3-7: Polaganje drenaže<sup>4</sup>

Pri vgrajevanju plasti morajo biti upoštevana naslednja načela:

- jedro naj bo čim večje, kolikor še dopušča ekonomičnost,
- finejši material naj bo v telesu čim bližje jedru,
- bolj grobe materiale v telesu vgrajujemo ob brežinah,
- kjer se ne moremo izogniti hitrejšim spremembam tipa materialov, moramo vključiti prehodne oziroma vmesne plasti.

### 3.1.6 Načini gradnje zemeljskih pregrad

Zemeljske pregrade lahko gradimo:

- z mehničnimi transporti,
- s hidravličnimi transporti.

Gradnja obsega 4 osnovne dejavnosti:

- *Priprava nahajališča materiala:* odprtje nahajališča, ureditev fiksne mehanizacije (drobilci ipd.), dovozne poti, odlagališča humusa...
- *Priprava temeljenja:* lahko jo izvedemo istočasno s pripravo nahajališča (izgradnja obtoka - tunel ali prekop in pomožne zgradbe, odstranitev vrhnje plasti, predhodna konsolidacija). Vgradnja opreme za nadzor pornih tlakov in tesnenja. Ta faza se konča z izgradnjo horizontalne drenažne plasti na dolvodnem delu pregrade.
- *Vgrajevanje materiala:* Upoštevanje vseh zahtev (glede na material in način vgradnje) in posebna pozornost pri vgrajevanju jedra. Nadzor pornih tlakov in včasih, za pospešitev konsolidacije, še vgradnja horizontalnih drenažnih plasti (na vertikalnih razmakih 3-5 m). Istočasno poteka tudi

<sup>3</sup> Vir: [www.novolit.si/slo/fasadnisis11.html](http://www.novolit.si/slo/fasadnisis11.html)

<sup>4</sup> Vir: [www.novolit.si/slo/fasadnisis11.html](http://www.novolit.si/slo/fasadnisis11.html)

vgradnja merske opreme. Faza se konča z ureditvijo zaščite brežin (tlakovanje gorvodno, zatravitev ipd. na dolvodni strani).

- *Gradnja potrebnih objektov:* obsega vse spremljajoče zgradbe: visokovodni preliv, drčo in podslapje, talni izpust, zajetje, idr.



Slika 3-5: Gradbišče prelivnega dela pregrade z 22 prelivnimi polji (ena odprtina predstavlja eno prelivno polje)<sup>5</sup> Slika 3-5: Gradbišče levoobrežne strojnice<sup>6</sup>



Slika 3-6: Prelivni objekt in drča na prekladi Klivnik<sup>7</sup>

<sup>5</sup> Vir: <http://google.si>

<sup>6</sup> Vir: <http://google.si>

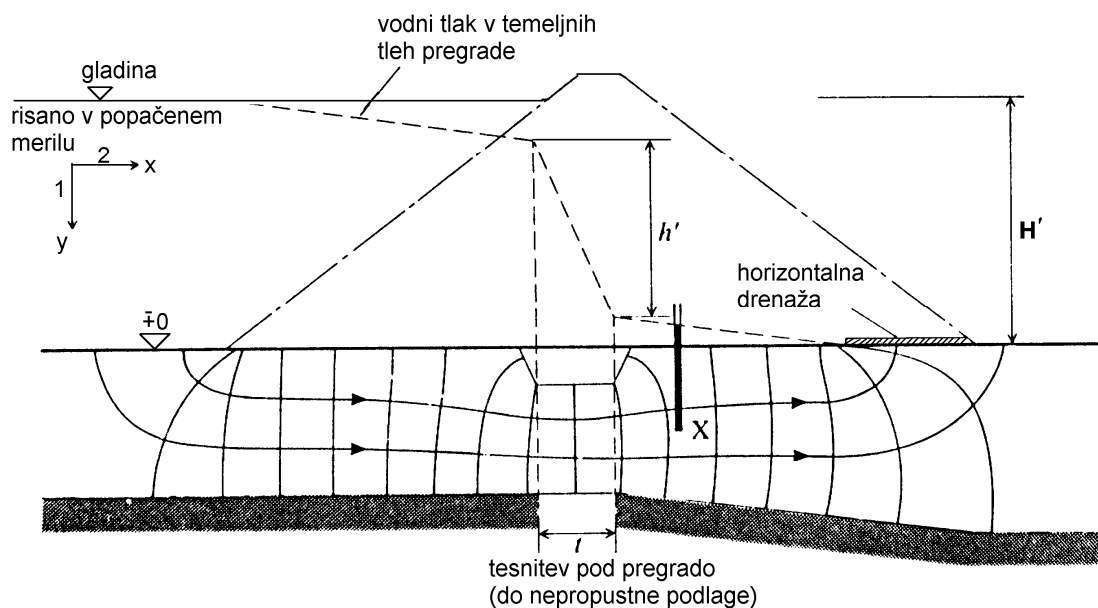
<sup>7</sup> Vir: <http://slocold.ide.si>

### 3.1.7 Presoja vodotesnosti

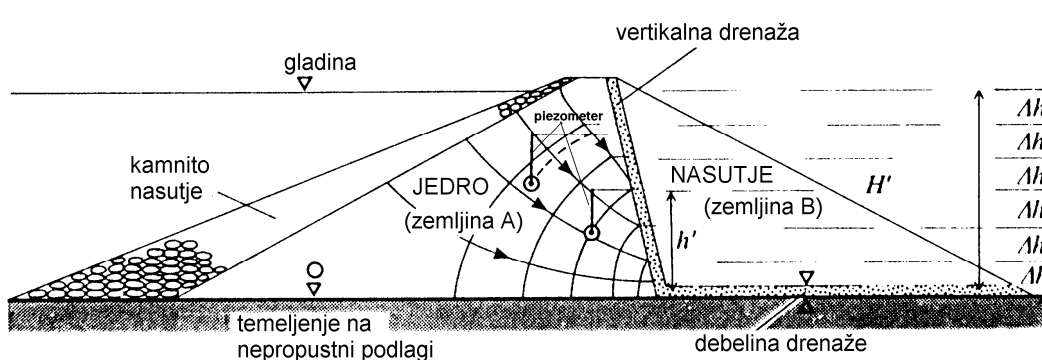
#### Precejjanje

V načelu ločimo dve vrsti precejjanja:

- skozi telo pregrade,
- pod pregrado.



Slika 3-6: Primer pronicanja pod pregrado



Slika 3-7: Primer pronicanja skozi slojevito pregrado

Območje z vzpostavljeno gladino precejajoče vode moramo čimbolj oddaljiti od zračne strani, saj bi porni tlaki sicer povzročili nestabilnost brežine (lokalno razmočenje, erozija, zdrs).

Razen vertikalne in horizontalne drenaže (zaščitene z ustreznimi plastmi po filterskem pravilu) je možna vrsto različnih tesnitev (glej sliko 3-7).

Običajno je koeficient pronicanja anizotropen, zato uporabljamo pretvorbeni faktor pri risanju tokovnic in ekvipotencialnih črt:

$$\lambda = \sqrt{k_v / k_h},$$

kjer je:

$k_v$  Darcyev koeficient prepustnosti v vertikalni smeri

$k_h$  Darcyev koeficient prepustnosti v horizontalni smeri.

In v računu namesto  $k$  uporabimo  $k'$ :

$$k' = \sqrt{k_v k_h}$$



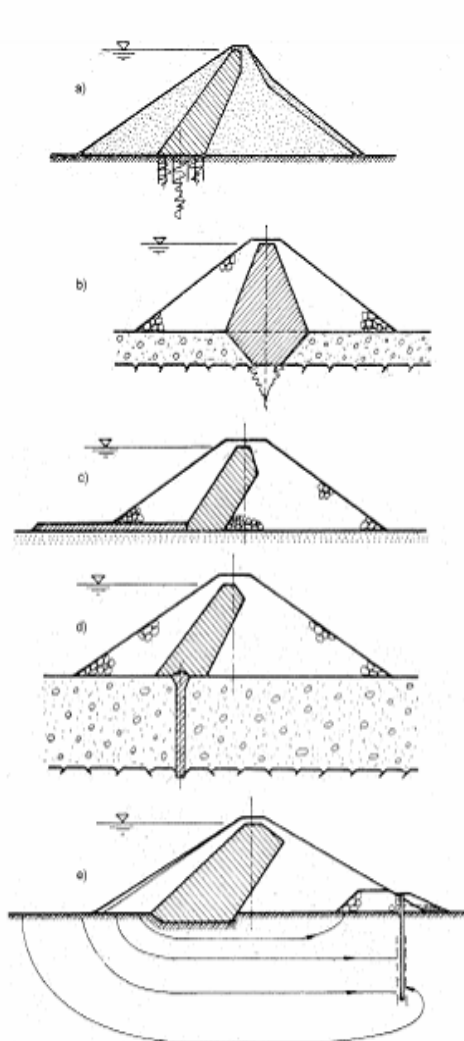
Tok podtalnice na tekoči meter pregrade znaša (glej Hidromehaniko, Rajar) torej:

$$q = k' \cdot H' \cdot \frac{(N_f)}{(N_d)},$$

kjer predstavlja  $(N_f)/(N_d)$  koeficient oblike tokovne mreže ( $N_f$  število tokovnih kanalov in  $N_d$  število ekvipotencialnih razdelitev),  $H'$  pa celotni hidravlični gradient.

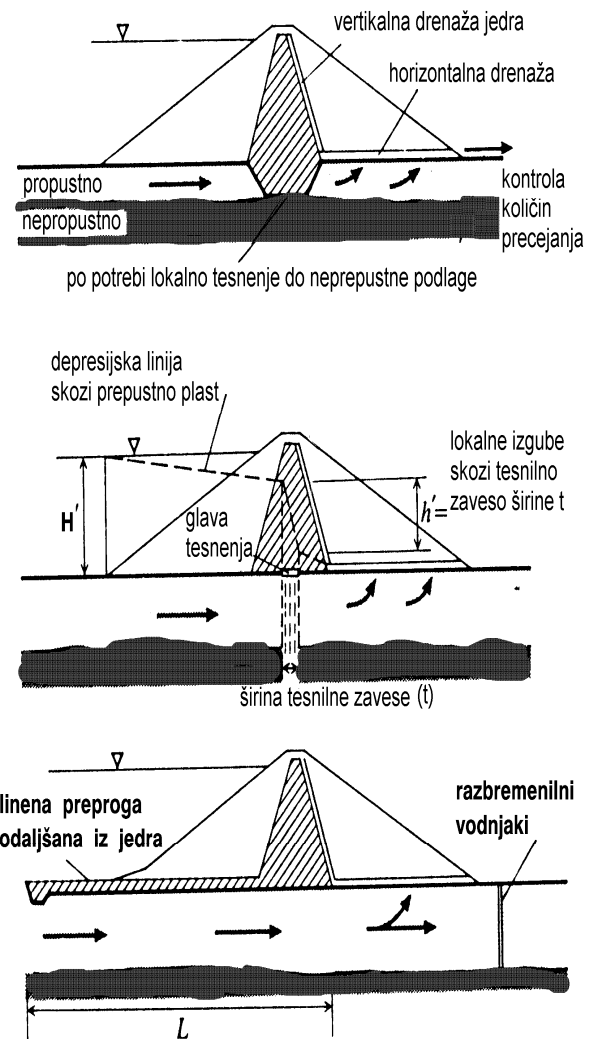
V primeru nehomogene (slojevite) zemeljske pregrade uporabimo to enačbo za vsako vrsto zemljine posebej in jih združimo v sistem enačb s kontinuitetno enačbo:

$$Q \text{ levo od tesnilnega jedra} = Q \text{ tesnilnega jedra} = Q \text{ desno od tesnilnega jedra}$$



Slika 3-8: Vodotesnost pregrade na propustnih tleh:

- tesnilno jedro in injektiranje tal pod njimi
- tesnilno jedro sega v tla do neprepustnega sloja
- neprepustni gorvodni tepih podaljša pot strujanja
- neprepustna diafragma pod tesnilnim jedrom
- prepustni dolvodni tepih in drenažne zavese (vodnjaki) zmanjšajo visoke porne tlake na dolvodni strani



Slika 3-9: Načini tesnjenja zemeljskih pregrad

Učinkovitost tesnilnih ureditev ocenjujemo z dvema meriloma:

- zmanjšanje vzgonske višine (iz meritev v piezometrih)  $E_H = h' / H'$
- zmanjšanje količine precejanja (iz meritve precejene količine vode)  $E_Q = 1 - Q/Q_0$

kjer je:

- Q pretok po dodatni ureditvi
- Q<sub>0</sub> pretok brez dodatnih ureditev.

Pri dobro izvedenih ureditvah sta bila doslej iz vrednotena oba koeficienta v mejah 50-60%.

### 3.1.8 Ureditev filtrov

Vsak prehod (oz. izcejanje) iz finejših v bolj grobe materiale mora biti postopen. Hkrati z drenažo moramo urediti še spremljajoče sloje, prikazane na spodnji sliki.



Slika 3-8: Prikaz spremljajočih slojev

Prehodni sloji in filter se praviloma izvedejo slojevito, pri tem pa morajo izpolnjevati dve zahtevi:

- preprečiti izpiranje finih delcev iz zemljine,
- omogočiti zadostno izcejanje.

Eden od široko uporabljenih, empirično določenih pristopov (t.i. filtrsko pravilo) zahteva izpolnitev naslednjih razmerij tipičnih zrn, določenih iz presejnih krivulj:

$$\frac{D_{15} \text{ filter}}{D_{85} \text{ zemljina}} \leq 5 \quad , \quad \frac{D_{15} \text{ filter}}{D_{15} \text{ zemljina}} \geq 5 \quad \text{in} \quad \frac{D_{50} \text{ filter}}{D_{50} \text{ zemljina}} \leq 25 .$$

Novejši razvoj narekuje, da se zaradi težav s hidravličnim lomom, pri dimenzioniranju plasti uporablja relativna prepustnost slojev.

### 3.1.9 Dimenzioniranje drenaž

Okvirno lahko debelino horizontalne drenaže določimo z enačbo:

$$t_d = \sqrt{qL / k_d} \cong H' \sqrt{k_1 / k_d} ,$$

kjer je:

- L dolžina drenažne plasti (od jedra do zračne plasti)
- k<sub>d</sub> prepustnost drenaže
- k<sub>1</sub> prepustnost na zračni strani telesa pregrade
- faktor 1.5 izvira iz tipičnega naklona brežin pregrad.

### 3.1.10 Presoja stabilnosti in napetosti v zemeljskih pregradah

#### 3.1.10.1 Dokaz stabilnosti-(drsine v zemeljski pregradi)

Stabilnost zemeljskih pregrad moramo preverjati na vse pogoje obratovanja:

- čas gradnje
- prvo polnjenje
- obratovanje (vključno s praznjenjem)

Stabilnostna analiza temelji na presoji statičnega ravnotežja "potencialno aktivne" mase zemljine, ki leži na določeni zdrsni ploskvi. Faktor varnosti pri tem definiramo kot:

$$F = \frac{\sum \tau_f}{\sum \tau}$$

kjer je:

- $\tau_f$  največja strižna napetost, ki jo lahko mobiliziramo v zemljini in
- $\tau$  dejanska strižna napetost, ki jo povzroča zemljina.

V procesu kontrole iščemo najmanjši faktor varnosti  $F_{\min}$ , ki ga dobimo za različne predpostavljene (možne) drsine.

Stabilnost je zelo občutljiva na porne pritiske  $u_w$ . Le-tega moramo oceniti iz tokovne slike in/ali predvideti glede na parametre zemljine. Včasih je zato primerneje obravnavati porne pritiske z brezdimenzionalnim razmerjem pornega pritiska  $r_u$ :

$$r_u = u_w / (\rho g z),$$

kjer je  $z$  globina pod zemljo (predpostavljeni geostatični pritisk). Torej je potrebno izvajati stabilnostno analizo z vidika efektivne strižne odpornosti (upoštevati parametra  $c'$  in  $\phi'$ ). Stabilnostno analizo s koeficientoma  $c$  in  $\phi$  je dovoljeno izvajati samo za primer kratkoročnih razmer in okvirnih stabilnostnih analiz (npr. stabilnost v času gradnje).

Upoštevati moramo naslednje obtežbene primere:

- konec gradnje, bazen prazen - kontrola obeh brežin,
- stalno stanje, poln bazen - kritična je zračna (dolvodna) brežina,
- hitra izpraznitev - kritična je vodna stran (zastojni tlaki),
- potresna obtežba v kombinaciji z že naštetimi.

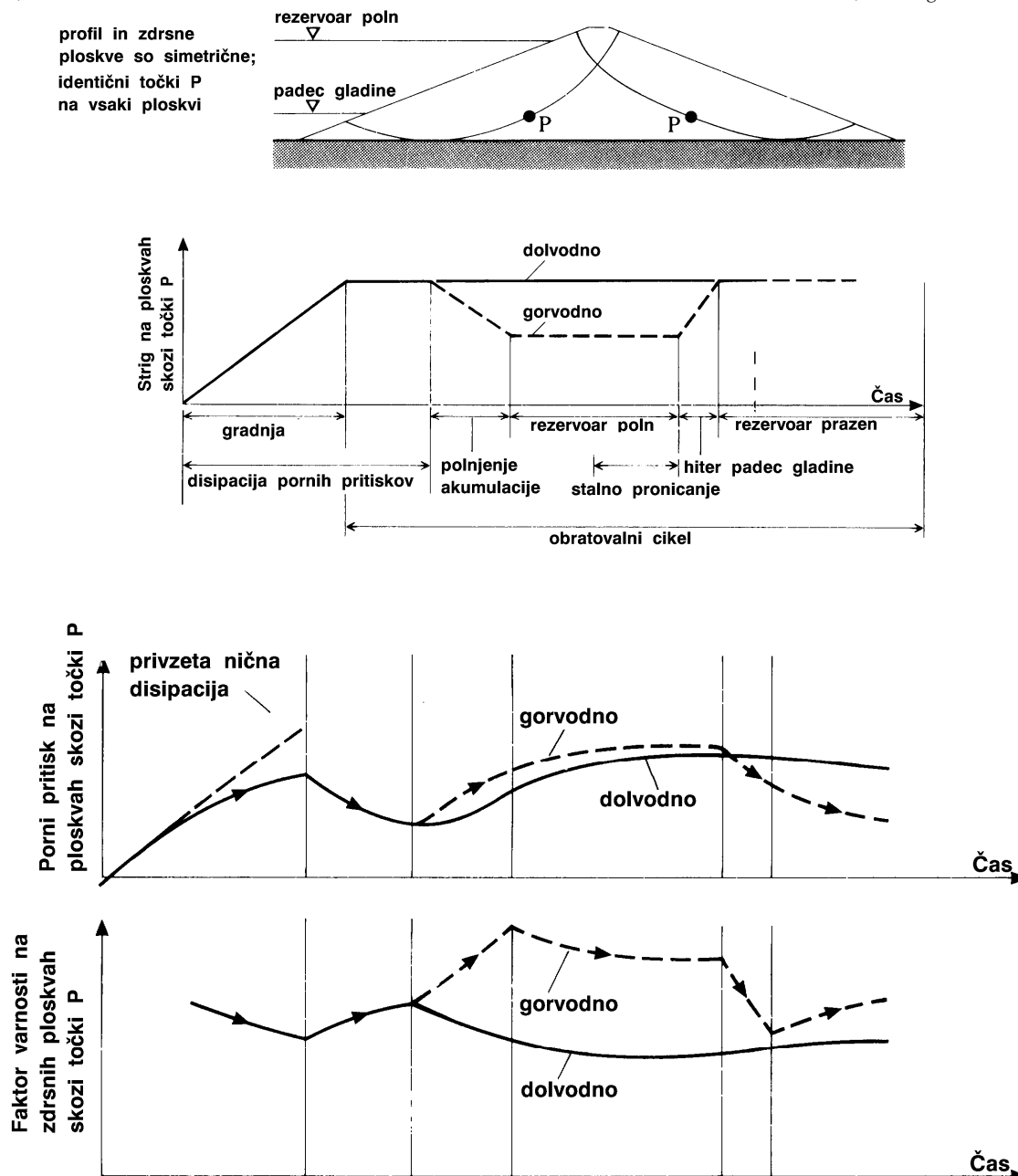
Izračunane vrednosti  $F_{\min}$  moramo obravnavati precej kritično (t.j. z veliko rezerve). Okvirne vrednosti pa so podane v tabeli:

**Preglednica 3-1: Okvirne vrednosti koeficienta varnosti**

		Koeficient varnosti $F_{\min}^*$	
		Zračna (dolvodna) stran	Vodna (gorvodna) stran
(1)	Med gradnjo in ob zaključku del	1.25	1.25
(2)	Redno obratovanje, polna akumulacija	1.5	1.5
(3)	Hiter padec nivoja akumulacije	/	1.2
(4)	Potresna obtežba v kombinaciji s točkami 1, 2 in 3	1.1	1.1

\* Upoštevati je potrebno še nezanesljivost pri določitvi  $u_w$ ,  $c'$ ,  $\phi'$

Opozoriti je potrebno, da faktorji varnosti niso konstante, temveč se spreminjajo v skladu s spreminjanjem obtežbe, t.j. s spremembami pri gradnji oziroma kasneje pri obratovanju, kar nazorno kaže slika v nadaljevanju.



Slika 3-9: Spreminjanje parametrov stabilnosti brežin (čas gradnje, obratovanje)

Lastnik oziroma upravljavec takega objekta mora vsak trenutek dokazovati, da so dejanski faktorji varnosti večji (ali vsaj enaki) predpisanim. Zato je izvedeno ustrezno spremljanje stanja funkcionalno zaključene celote (monitoring), ki obsega vse objekte, naprave in ureditve.

### 3.1.10.2 Ostale presoje (kontrole)

- **Kontrola napetosti v materialih**

Uporabo zahtevnih matematičnih metod omejujejo težave zaradi možne vgradnje velikega števila različnih materialov ter kompleksnosti njihovega (medsebojnega) obnašanja. Zato tehnike modeliranja, kot npr. MKE, uporabljamo le v zelo specifičnih projektantskih študijah. Pritiski običajno niso problematični zaradi troosnega napetostnega stanja. So manj kritični kot pri betonskih pregradah, saj je pri zemeljskih pregradah kritična stabilnost.

- **Hidravlični lom tal**

Analiza nevarnosti hidravličnega loma je pri zemeljskih pregradah običajno omejena le na razmere v nepropustnem jedru. Hidravlični lom, in posledično notranja erozija, se pojavi, če skupni tlak v jedru pade pod nivo lokalnega porenega pritiska. V tem primeru se pojavi nosilni sistem horizontalnega loka

za prenos horizontalne strižne sile. Nevarnost hidravličnega loma zmanjšamo z uporabo ustreznega materiala (plastičnost) za dovolj debelo jedro pregrade, ter z uporabo ustreznih filterskih plasti ob jedru.

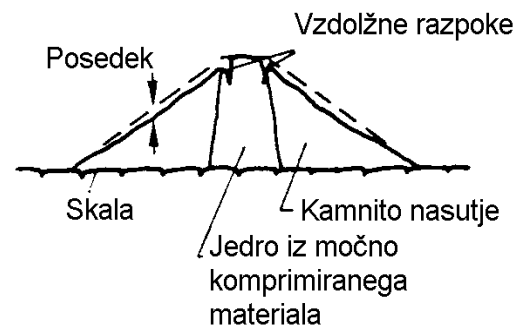
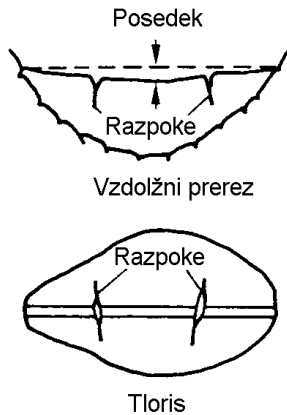
- **Potresna obtežba**

Podrobnejša analiza presega okvir snovi pri tem predmetu. Nekoliko pa je ta tema obravnavana v poglavju o betonskih pregradah.

- **Posedki in deformacije**

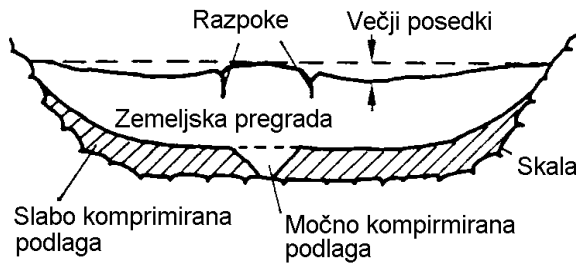
Snov je v zadostnem obsegu podana pri predavanjih o mehaniki tal.

Nekaj primerov težav, ki se lahko pojavijo, je prikazanih na sledečih slikah:



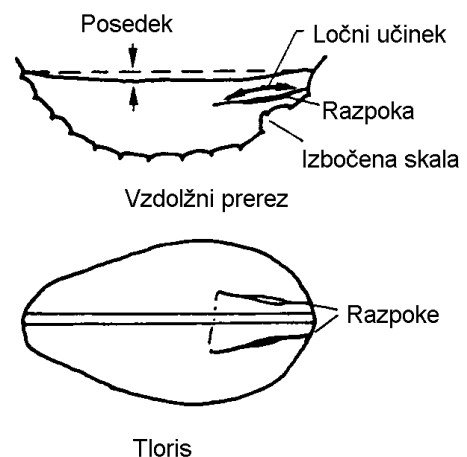
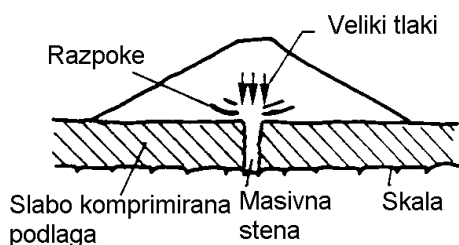
Slika 3-10: Pojav prečnih razpok v kroni pregrade zaradi neenakomernih posedkov vzdolž osi pregrade

Slika 3-11: Pojav vzdolžnih razpok v kroni pregrade zaradi različnih posedkov različno komprimirane podlage



Slika 3-12: Pojav prečnih razpok v kroni pregrade zaradi različnih posednih različno komprimirane podlage

Slika 3-13: Razpoke v jedru zaradi ločnega učinka pri različnih posedkih



Slika 3-14: Pojav notranjih razpok zaradi različnih posedkov in/ali slabo izvedene dilatacije

Slika 3-15: Pojav razpok zaradi lokalne izbokline na temeljnih tleh

Dosedanje izkušnje so pokazale najpogostejše oblike poškodb, vzroke zanje in možne ukrepe (preventiva je tudi tu boljša kot kurativa!)

### Preglednica 3-2: Poškodbe in preventivni ukrepi na zemeljskih pregradah

POŠKODBA	ZNAČILNOSTI	VZROKI	PREVENTIVNI IN KOREKCIJSKI UKREPI
<b>ZUNANJE POŠKODBE</b>			
prelivanje pregrade	tok preko pregrade in možno prelivanje pregrade; večja nevarnost pri manj kohezivnih zemljinah!	neprimeren odtočni kanal in/ali varnostna višina pregrade  posedanje pregrade zmanjšuje varnostno višino; zamašen odtočni kanal	ustrezna kapaciteta odtoka in varnostna višina pregrade  sanacija posedkov; zaščita krone pregrade; dobro vzdrževanje
erozija zaradi valov	poškodbe na gorvodni strani	zaščita brežine pregrade nezadostna ali poškodovana	pravilno načrtovanje in vzdrževanje
erozija pete	poškodba pete zaradi poplavnega vala dolvodno	odtočni kanal slabo načrtovan ali lociran	dobro hidravlično načrtovanje;
žlebljenje	erozija dolvodne strani zaradi padavin	slaba površinska drenaža	vegetacija in/ali drenaža

### Preglednica 3-3: Poškodbe in preventivni ukrepi na zemeljskih pregradah

POŠKODBA	ZNAČILNOSTI	VZROKI	PREVENTIVNI IN KOREKCIJSKI UKREPI
<b>PRONICANJE POD ALI SKOZI PREGRADO</b>			
izgube vode	porast izgub zaradi pronicanja: vidno: mehko zemljišče na brežini ali dolvodno	prepustnost pregrade/temeljne zemljine; nezadostno tesnjenje tesnilne zavesa  notranja razpoka	tesnilna zavesa ali injiciranje v jedro pregrade  natančno načrtovanje, naknadno injiciranje
erozija zaradi pronicanja (skrita notranja erozija)	kalno pronicanje	notranja razpoka	notranja drenaža; filtri; skrbno coniranje polnitve
<b>NESTABILNOST</b>			
zdrs temeljnih tal		nenosilna temeljna tla ali visoki porni pritiski	konsolidacija zemljine; drenaže; izboljšanje zemljine
dolvodna stran	sprememba morfologije dolvodne strani; nabrekanje in deformacije vodijo k	visoki porni pritiski; prestrm nagib; hiter spust gladine vode v akumulaciji	drenaže; zmanjšati nagib brežin ali konstruirati stabilizacijske berme
gorvodna stran	rotacijskem ali translacijskem zdrs		
zdrs	hitri pojavi toka	posledica potresa; najbolj so ogrožene meljaste zemljine	ustrezno komprimiranje ali dodana berma v peti pregrade
<b>DEFORMACIJE</b>			
posedki	izgube varnostne višine; lokalni posedki	deformacija in/ali konsolidacija pregrade in/ali temeljnih tal; posledica notranje erozije, itd.	vzpostavitev varnostne višine; skrbno notranje detajliranje, da se zmanjša nevarnost razpok, zaščitni filtri
notranje deformacije	zunanja deformacija profila; notranje razpoke	relativne deformacije con ali materialov	skrbno detajliranje s širokimi prehodnimi conami, itd.

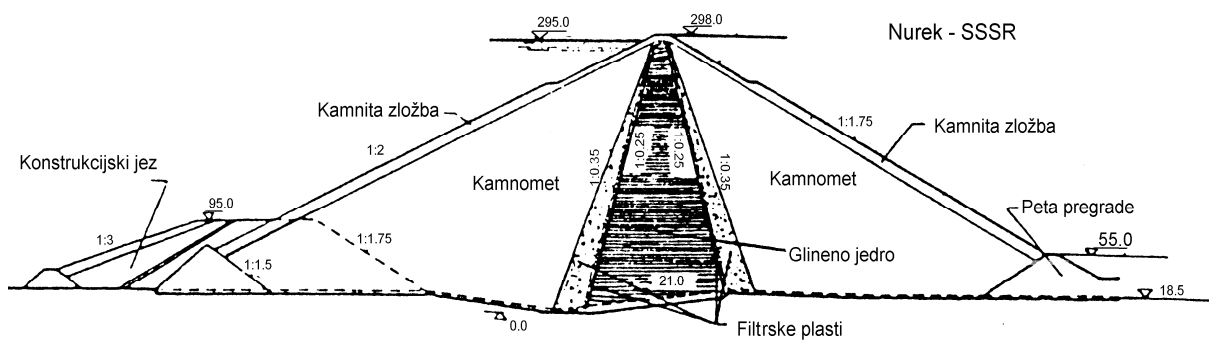


### 3.1.11 Praktični primeri

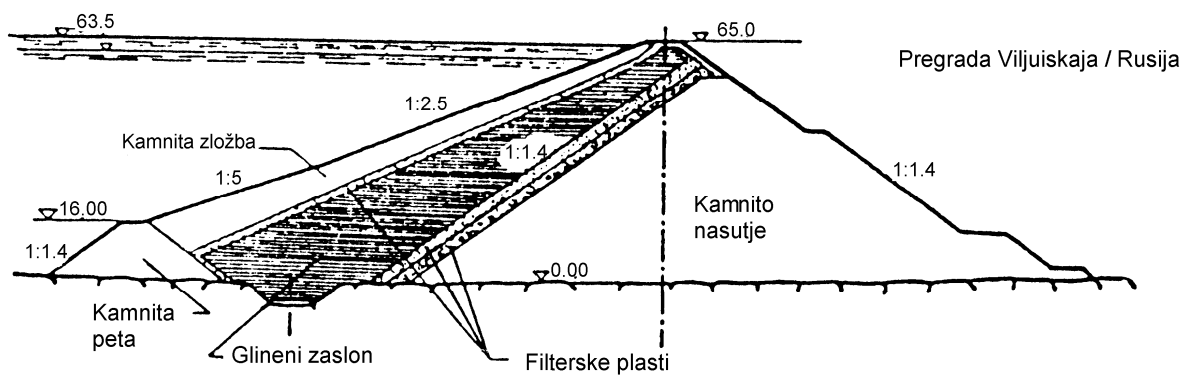
Podani primeri služijo kot kratek pregled možnih izvedb. Običajno pa zahtevajo razmere na dani lokaciji še dodatne ureditve.



Slika 3-16: Pregrada Nurek<sup>8</sup>



Slika 3-16: Zemeljska pregrada Nurek (bivša ZSSR)

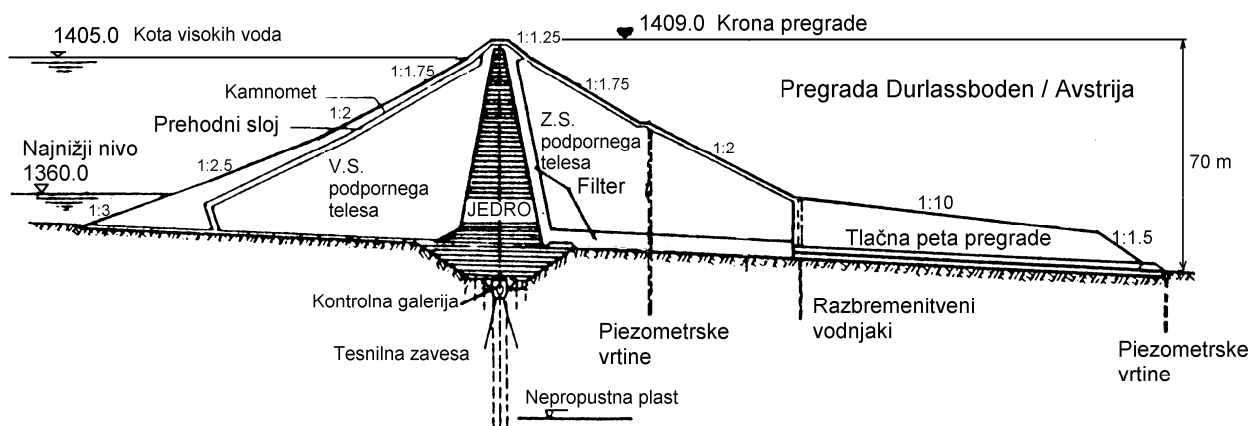


Slika 3-17: Zemeljska pregrada Viljuiskaja – Rusija

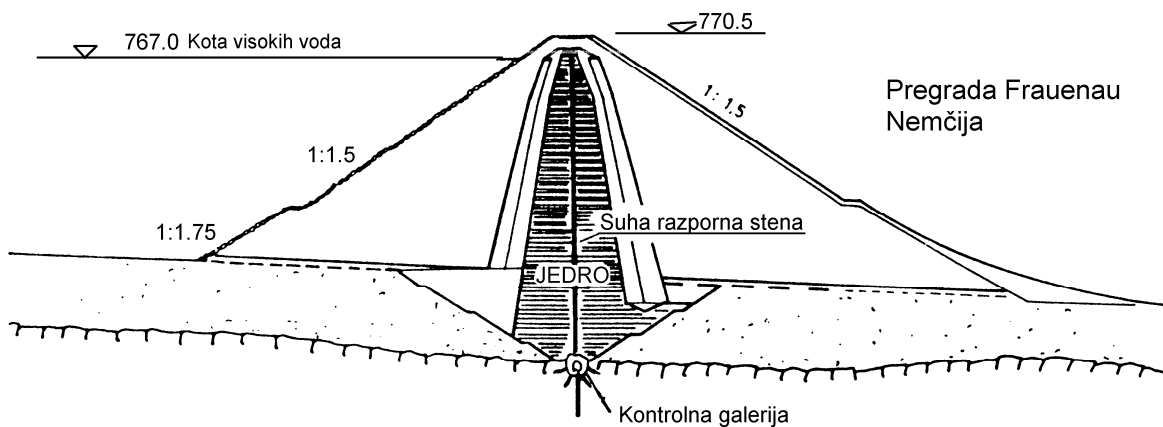
<sup>8</sup> Vir: <http://en.wikipedia.org>



Slika 3-19: Pregrada Durlassboden<sup>9</sup>



Slika 3-18: Zemeljska pregrada Durlassboden – Avstrija



Slika 3-19: Zemeljska pregrada Frauenau – Nemčija

<sup>9</sup> Vir: <http://nw-ialad.uibk.ac.at/>

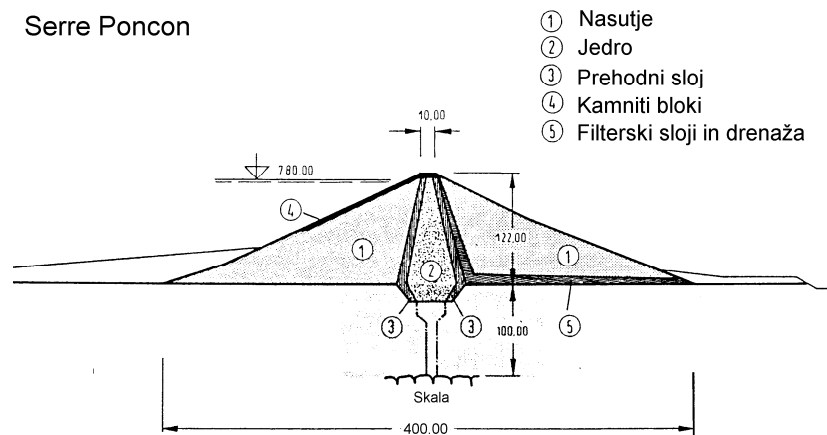


Slika 3-21: Pregrada Serre Poncon<sup>10</sup>



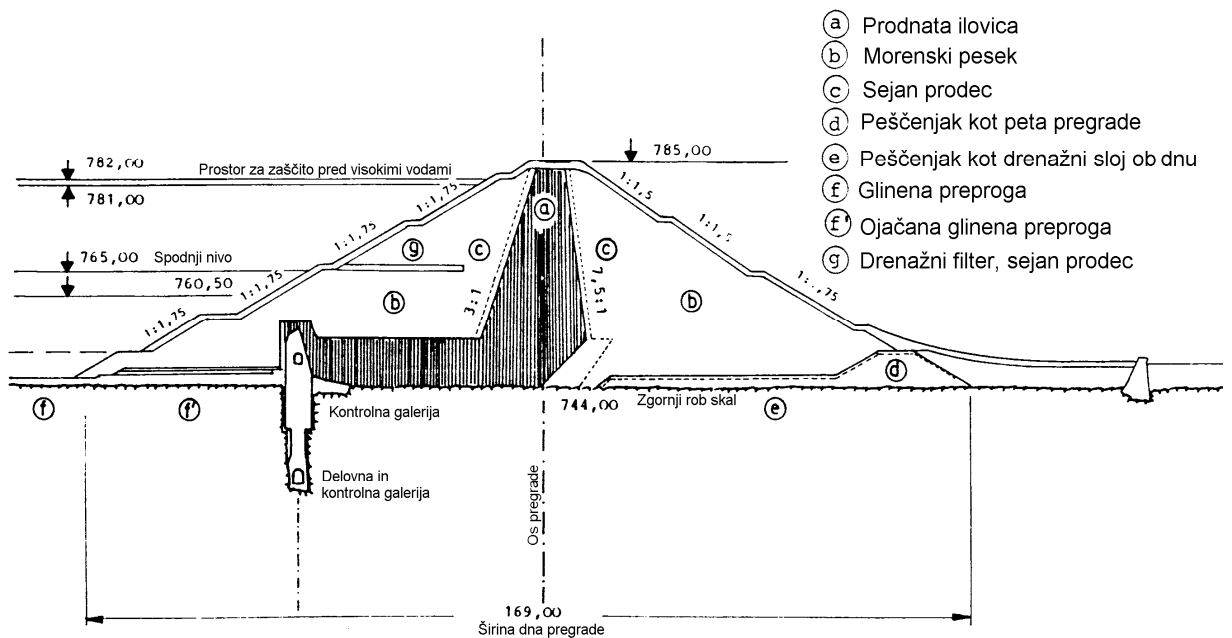
Slika 3-22: Pregrada Serre Poncon<sup>11</sup>

Serre Poncon



- ① Nasutje
- ② Jedro
- ③ Prehodni sloj
- ④ Kamniti bloki
- ⑤ Filterski sloji in drenaža

Slika 3-20: Zemeljska pregrada Serre Poncon - Francija

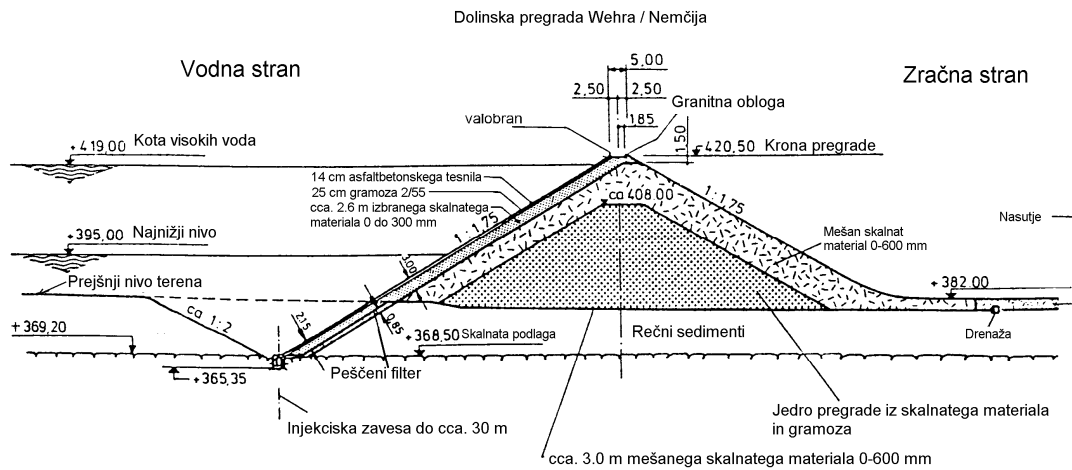


- Ⓐ Prodnata ilovica
- Ⓑ Morenski pesek
- Ⓒ Sejan prodec
- Ⓓ Peščenjak kot peta pregrade
- Ⓔ Peščenjak kot drenažni sloj ob dnu
- Ⓕ Glinena preproga
- Ⓖ Ojačana glinena preproga
- Ⓗ Drenažni filter, sejan prodec

Slika 3-21: Primer zemeljske pregrade z ilovnatim jedrom

<sup>10</sup> Vir: <http://perso.orange.fr>

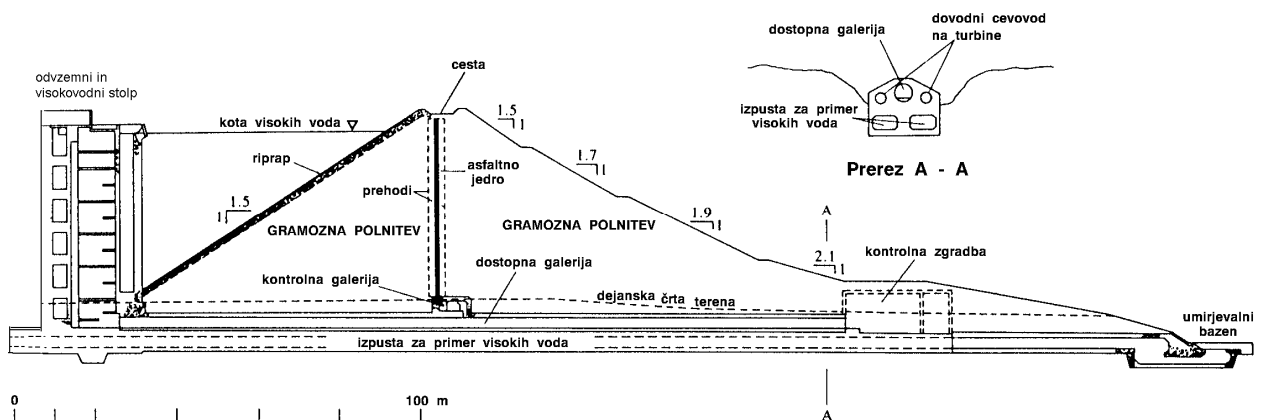
<sup>11</sup> Vir: <http://www.provenceweb.fr>



Slika 3-22: Zemeljska pregrada Wehra – Nemčija



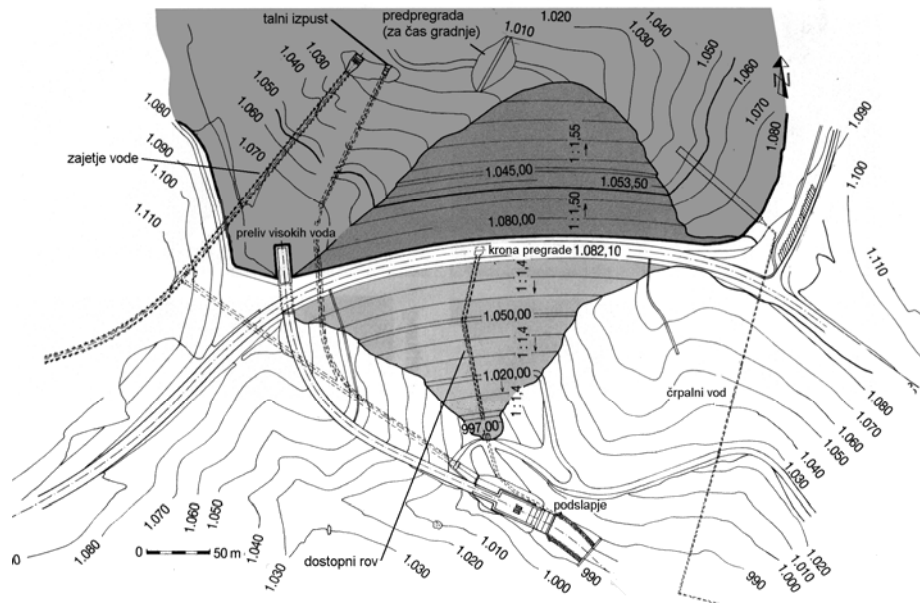
Slika 3-24: Zemeljska pregrada Megget<sup>12</sup>



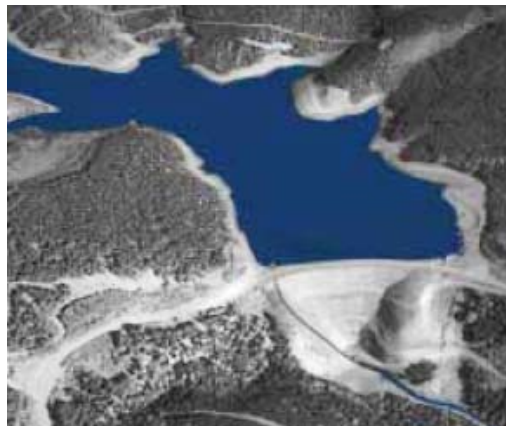
Slika 3-23: Zemeljska pregrada Megget – Škotska

<sup>12</sup> Vir. [www.waterbriefing.org](http://www.waterbriefing.org)

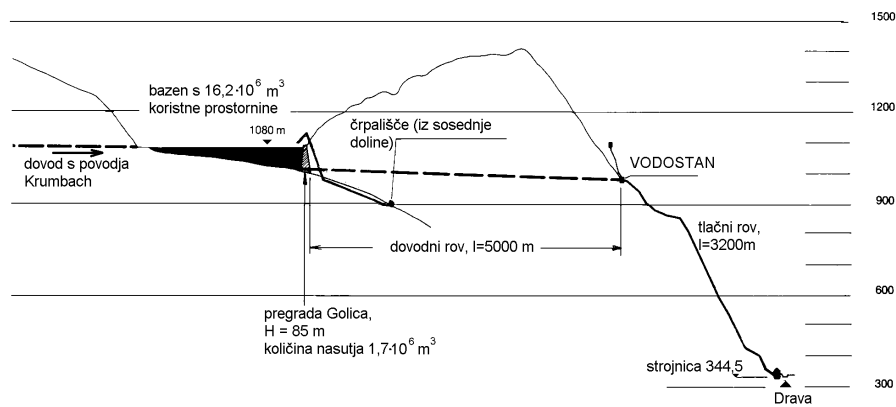
Novejša zemeljska pregrada v naši bližini je pregrada Golica (Koralpe) dokončana leta 1990.



Slika 3-24: Situacija pregradnega telesa HE Golica



Slika 3-26: Računalniški modeli objektov HE Golica<sup>13</sup>

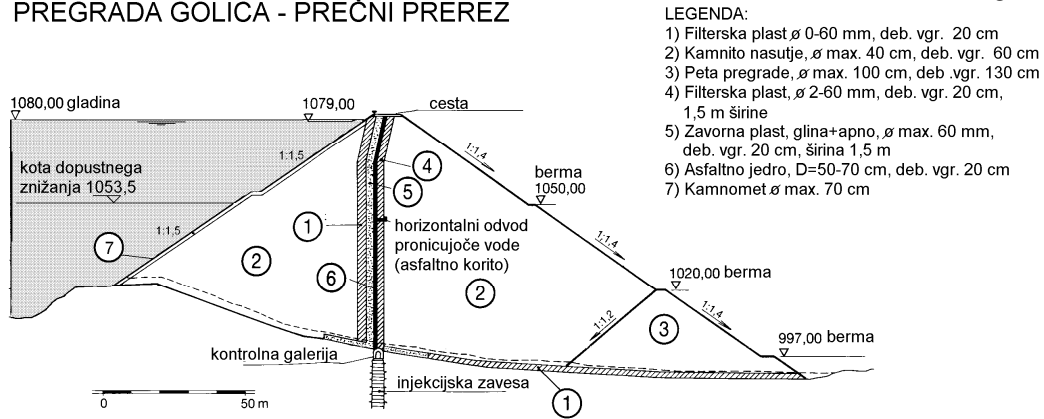


Slika 3-25: Vz dolžni prerez sistema HE Golica Koralpe

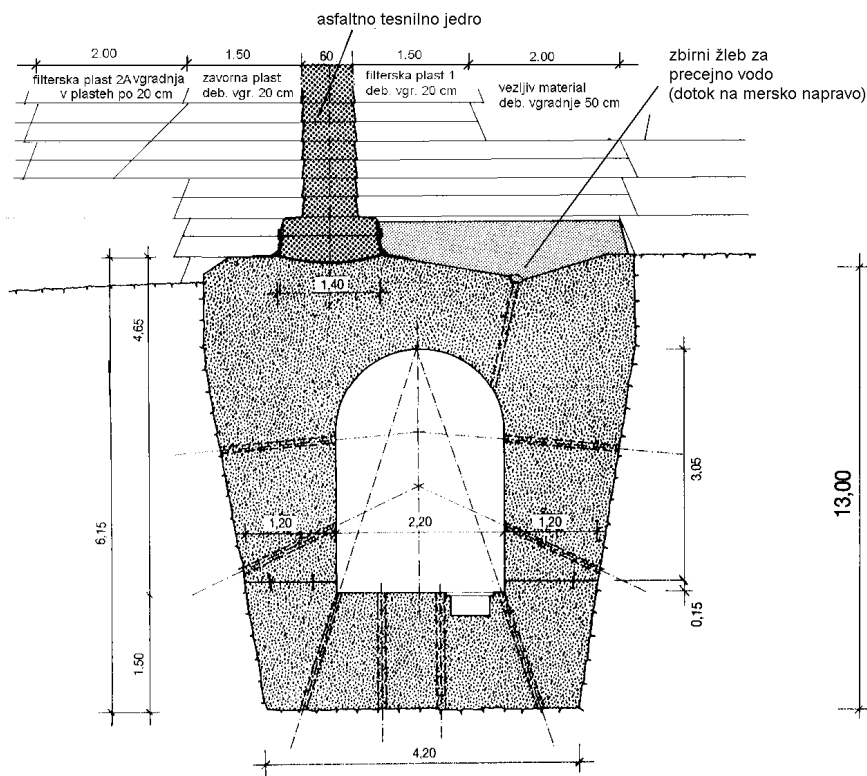
<sup>13</sup> Vir: <http://www.sos112.si/slo/>



PREGRADA GOLICA - PREČNI PREREZ



Slika 3-26: Zemeljska pregrada Golica - Koralpe - prečni prerez



Slika 3-27: Pregrada Golica – Koralpe, standardni profil kontrolne galerije

Slika 3-28: Pregrada Golica-Koralpe, prelivno korito-prerez

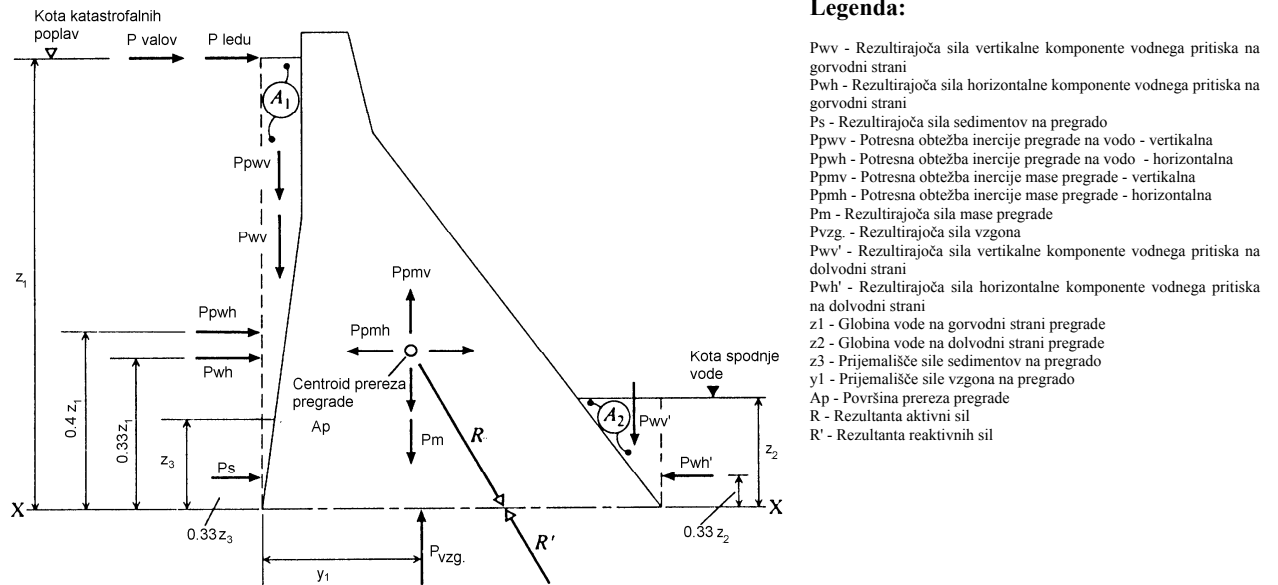


### 3.2 Načrtovanje betonskih pregrad

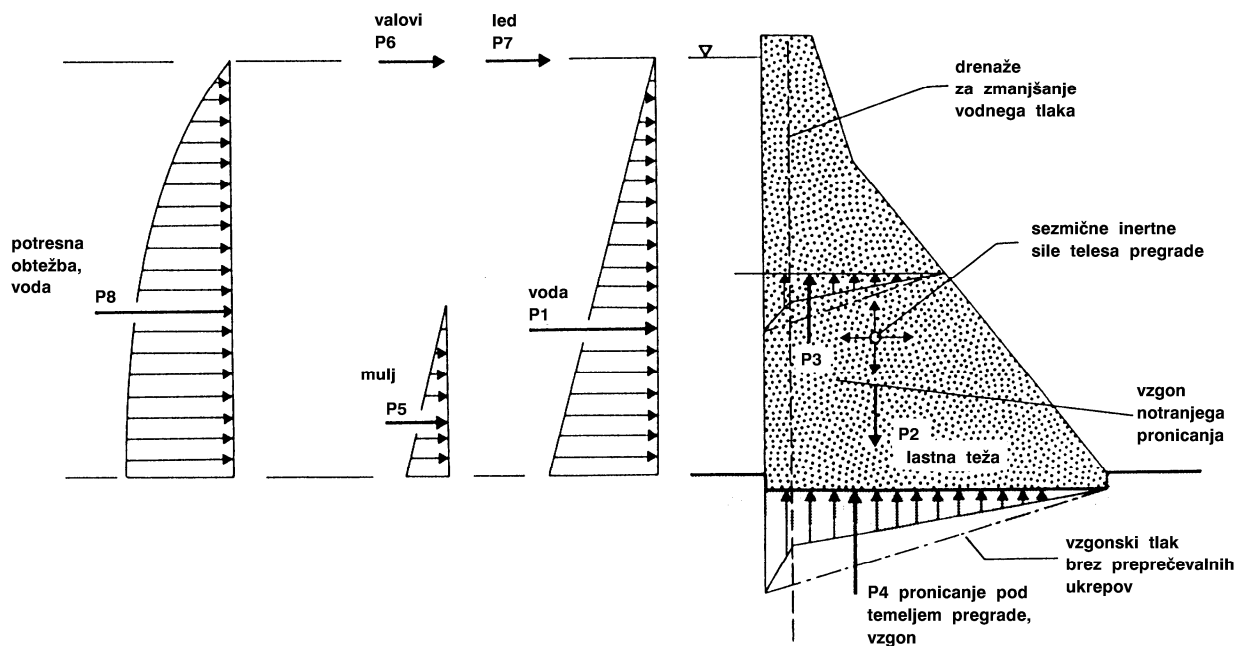
#### 3.2.1 Obtežba

Na sliki 3-30 so konceptualno podane obtežbe na betonsko pregrado. V nadaljevanju bomo podali velikostni razred in način upoštevanja glavnih obtežb, saj privzamemo, da so že znani principi hidrostatike, mehanike trdih teles, ipd.

Izrazi bodo podani brez izvajanja, običajno za prerez X -X na globini  $z_1$  od gladine bazena in za 2-D analizo (t.j. za sloj 1 meter pregrade).



Slika 3-29: Obtežba, ki deluje na betonsko pregrado



Slika 3-30: Obtežba, ki deluje na betonsko pregrado

Slika 3-32: Primer betonske pregrade (HE Orlik na Vltavi)<sup>14</sup>

### 3.2.1.1 Osnovna obtežba

#### Sile vodnega pritiska

##### Vodna stran:

- Zunanji hidrostatični pritisk  $p_w$  na globini  $z_1$  izrazimo z:  $p_w = \rho_w * g * z_1$   
in tako znaša rezultirajoča sila:  $P_{wh} = \rho_w * g * z_1^2 / 2$
- Vertikalna komponenta vodnega pritiska znaša:  $P_{wv} = \rho_w * g * A_1$

##### Zračna stran:

- Podobne enačbe veljajo za pritisk spodnje vode na pregrado

#### Sila lastne teže

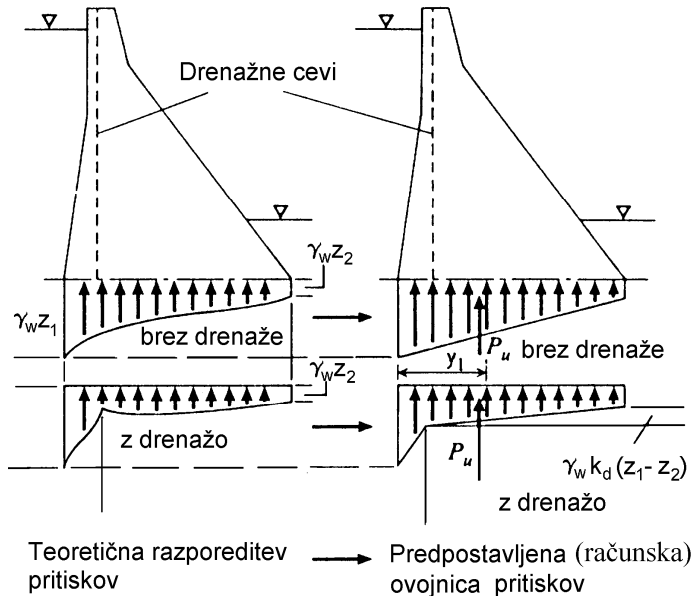
Sila lastne teže deluje v težišču prereza pregrade  $A_p$  in znaša:  $P_m = \rho_{betona} * g * A_p$

#### Sile zaradi pronicanja in vzgona

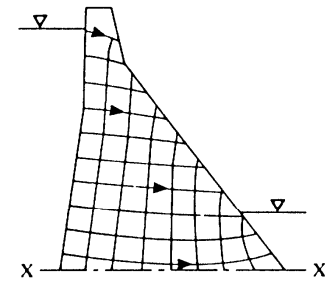
Intersticijski vodni pritisk  $u_w$  se razvije v betonski pregradi ter njenih temeljih zaradi penetracije vode vzdolž diskontinuet (npr. stikov, razpok ipd.), ter tudi zaradi pronicanja v pore kamnin in betona. Ti pritiski so analogni pornim pritiskom pri zemeljskih pregradah.

Na slikah vidimo idealizirano mrežo tokovnic pri pronicanju skozi pregrado, teoretično razporeditev vzgonskih pritiskov ter računsko (bilinearno) razporeditev.

<sup>14</sup> Vir: <http://images.google.si>



Slika 3-31: Razporeditev pritiskov na betonsko pregrado z drenažo in brez drenaže



Opomba: dejanski vzorec pronicanja je odvisen predvsem od stikovanja blokov, dilatacij...

Slika 3-32: Mreža tokovnic pri pronicanju skozi idealizirano pregrado

Vzgonska sila  $P_u$  predstavlja vzgonsko silo intersticijske vode v temelju pregrade ali interno vzgonsko silo v telesu pregrade. Vzgonska sila je premosorazmerna srednjemu intersticijskemu vodnemu pritisku  $u_{w\text{ sr.}}$ , ki se nanaša na interno ali zunanjo efektivno horizontalno površino  $A_h'$ , ki jo definiramo kot:

$$A_h' = \eta A_h$$

Kjer je  $\eta$  koeficient redukcije površine. Torej velja:

$$P_u = \eta * A_h * u_{w\text{ sr.}}$$

In v primeru, da v pregradi ni vgrajene razbremenilne drenaže znaša vzgonska sila:

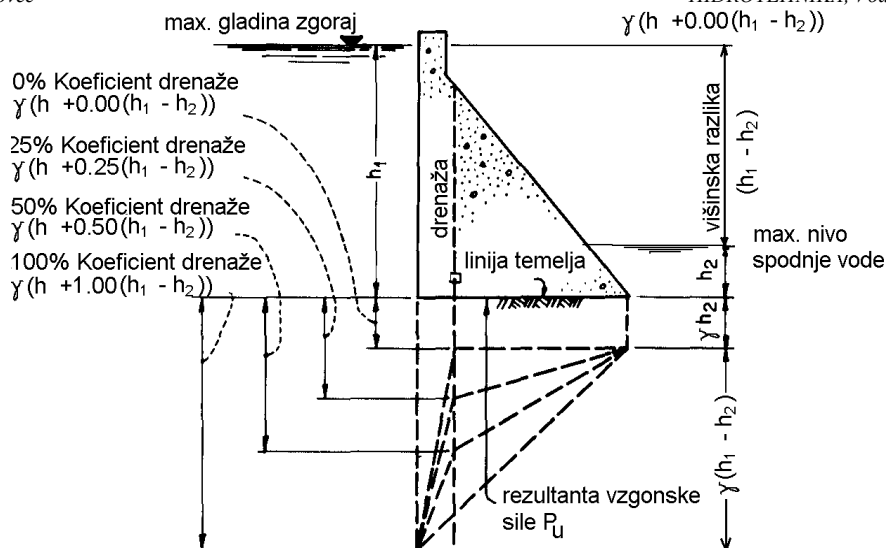
$$P_u = \eta A_h \rho g \left( \frac{z_1 + z_2}{2} \right)$$

Za analitične potrebe običajno privzamemo vrednost  $\eta = 1.00$ .

V sodobnih pregradah vzgon omejujemo z vgraditvijo vertikalnih razbremenilnih drenaž ob gorvodni strani. Srednjo efektivno vzgonsko višino na liniji drenaž izrazimo z :

$$z_d = z_2 + k_d(z_1 - z_2)$$

Empirični koeficient  $k_d$  je funkcija geometrije vertikalnih razbremenitvenih drenaž (premera, razporeditve in položaja glede na gorvodno stran pregrade). Običajno lahko privzamemo vrednost  $k_d = 0.33$ .

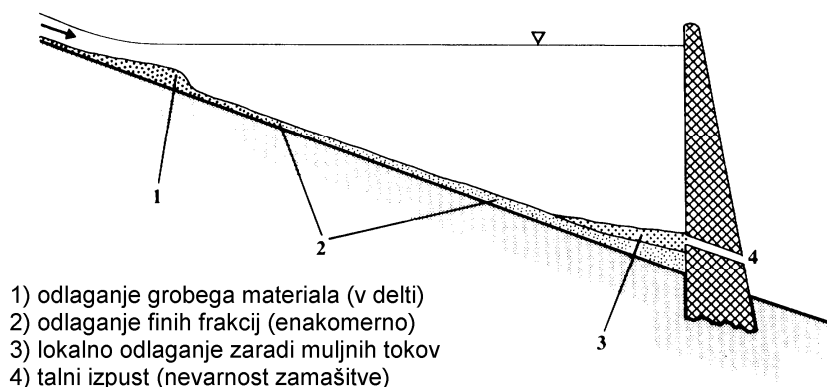


Slika 3-33: Vzgonska sila glede na koeficient drenaže

Standardno vgrajevanje globoke tesnilne zavese na gorvodni strani, ki preprečuje pronicanje, služi tudi za zmanjšanje vzgonskih pritiskov. Vendarle je učinek le te mnogo manj zanesljiv in zato vpliv tesnilne zavese na vzgonske pritiske običajno zanemarimo.

### 3.2.1.2 Dodatna obtežba

#### Obtežba s sedimenti



Slika 3-34: Odlaganje sedimentov v akumulaciji

Račun obtežbe zaradi sedimentov je analogen računu obtežbe na podporni zid, s tem da težo sedimentov zmanjšamo za vzgon:

$$P_s = K_a(\rho - \rho_w)gz_3^2/2$$

Sila deluje na višini  $z_3/3$  nad osnovno ravnino. Pri tem je  $K_a$  koeficient aktivnega zemeljskega pritiska, ki znaša:

$$K_a \cong \frac{1 - \sin \varphi_s}{1 + \sin \varphi_s},$$

kjer predstavlja  $\varphi_s$  strižni kot sedimentov. Običajne vrednosti so:  $\rho_s = 1800 - 2000 \text{ kg/m}^3$  in  $\varphi_s = 30^\circ$ .

Akumulirana globina sedimentov  $z_3$  je kompleksna časovna funkcija odvisna od koncentracije suspendiranih delcev, hidroloških karakteristik reke ter drugih faktorjev. Natančnejša predvidevanja so zelo otežena zaradi nedoločljivosti mnogih dejavnikov, vendar je višina akumuliranih sedimentov le redko kritičen dejavnik (z vidika stabilnosti).

Za vsako pregrado mora biti posebej izvedena poglobljena analiza transporta materiala, saj poleg obtežbe na pregrado prekinjen transport sedimentov vpliva še na:

- stabilnost rečne struge pod pregrado,
- dimenzioniranje usedalnika pred vtokom v turbine,
- čas zapolnitve akumulacije (razpolovna doba zapolnitve),
- biologijo bazena in vodotoka,
- izgled krajine.

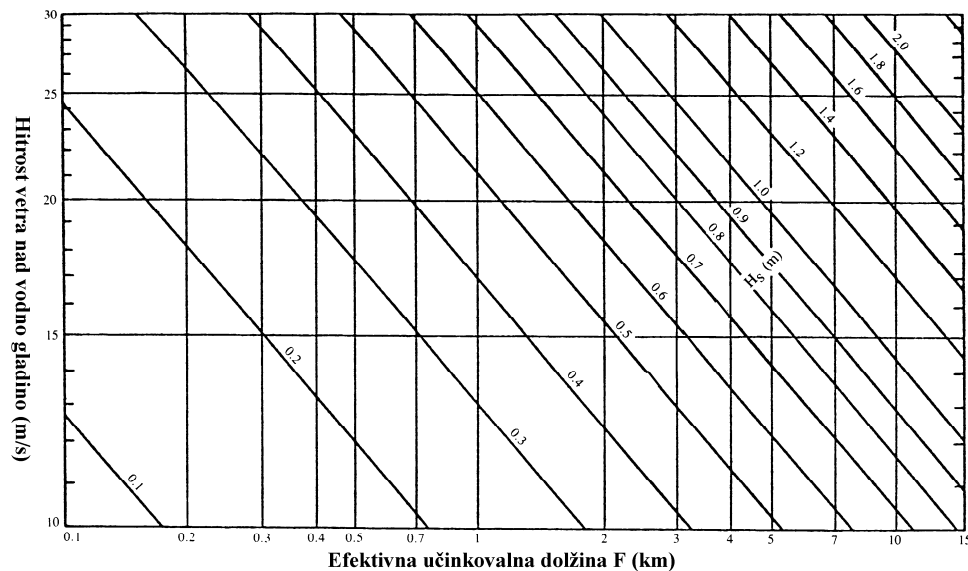
### Hidrodinamična obtežba z valovi

Dinamično delovanje obtežbe valov se pojavlja ob udarcu valov v pregrado. To silo ( $P_{\text{valov}}$ ) računamo le v izjemnih primerih, saj je v primerjavi z ostalimi silami, ki delujejo na pregrado relativno majhna, poleg tega pa deluje lokalno in neregularno. Predvsem je odvisna od sovpadanja smeri glavnih vetrov in akumulacije. Zato moramo določiti predvsem, na kakšni efektivni dolžini bo lahko veter deloval na vodno gladino in ustvaril valove.

Kadar je potrebno upoštevati obtežbo z valovi, uporabimo konzervativni približek za dodatno hidrostatično obtežbo na površini rezervoarja:

$$P_{\text{valov}} = 2\rho_w g H_s^2$$

kjer predstavlja  $H_s$  višino glavnega vala. Odčitamo jo lahko iz podanega diagrama.



Slika 3-35: Diagram višine glavnega vala v odvisnosti od efektivne učinkovalne dolžine in hitrosti vetra

### Obtežba z ledom

Ni je potrebno upoštevati, kadar je pričakovana debelina ledu manjša od 0.4 m in/ali pri objektih, ki nudijo majhen upor ledu - nagnjene površine. Pri debelinah večjih od 0.6 m lahko zaradi ledu upoštevamo dodatno obtežbo z naslednjo vrednostjo:  $P_{\text{ledu}} = 145 \text{ kN/m}^2$ .

### Termalna obtežba, interakcije

Hlajenje velikih blokov betona zaradi eksotermičnega procesa hidratacije cementa ter posledične razlike temperatur materiala in/ali vode povzročajo kompleksne časovno odvisne temperaturne gradiente v pregradi. Podobne kompleksne interakcije se pojavljajo kot posledica posejka temeljnih tal ali kot posledica prenosa sil med posameznimi nosilnimi bloki. Obravnava teh napetosti presega program tega predmeta. Kasneje bomo prikazali le načine za zmanjševanje notranjih napetosti.

### Opomba:

Dodatna obtežba je lahko pri nekaterih večjih pregradah istega velikostnega razreda kot primarna obtežba.

### 3.2.1.3 Posebna obtežba

#### Potresna obtežba

Razmere se preverijo tako za pregrade v visoko rizičnem območju, kot tudi na lokacijah, ki so blizu potencialnih prelomnic:

- Upoštevamo jo glede na stopnjo seizmičnosti področja, v katerem gradimo, in glede na pomembnost pregrade.
- Vešana je na kompleksen vzorec nihanja pospeškov in gibanja tal, ki povzročajo menjavajoče se obtežbe zaradi inercije pregrade ter zajezenega vodnega telesa.
- Horizontalni in vertikalni pospeški niso enakovredni, vertikalni so intenzivnejši.

V primeru polnega rezervoarja bo torej najneugodnejša obtežba nastopila s spremljajočim:

- horizontalnim pospeškom temeljev delujočim gorvodno (dodatna obtežba dolvodno!) in
- vertikalnim pospeškom temeljev delujočim navzdol (zmanjšana masa in s tem stabilnost!).

Betonske pregrade upoštevamo kot elastične strukture, zato privzamemo, da se obnašajo tako tudi, ko prenašajo seizmične pospeške.

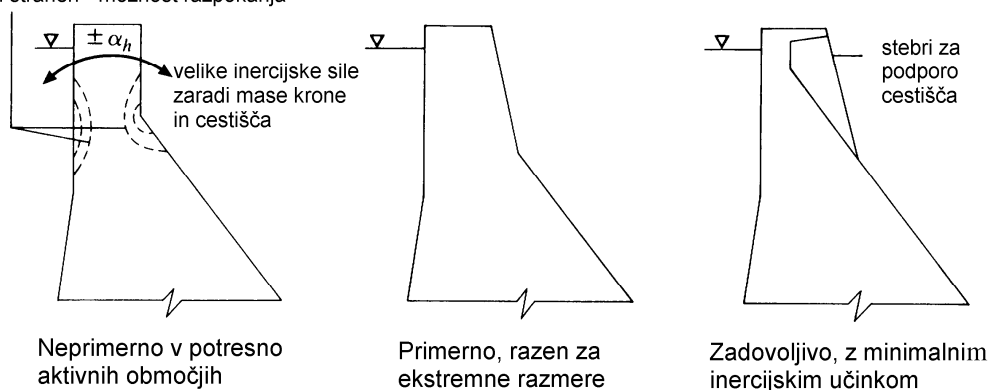
Ocenjuje se, da je frekvenca večine ponavljajočih se potresnih valov 1-10 Hz, kar je tudi potrebno upoštevati pri dimenzioniranju (rezonanca). Lastno frekvenca  $f_n$  trikotnega težnostnega profila višine  $h$  (m) ter osnovne debeline  $T$  (m) iz betona z (efektivnim) modulom elastičnosti  $E_{ef} = 14 \text{ GN/m}^2$  ocenimo po enačbi:

$$f_n \cong 600T / H^2 \quad \text{ali po enačbi: } f_n = \sqrt{E_{ef}} / 0.012H$$

Na podlagi teh enačb lahko ugotovimo, da je pojav resonance težko mogoč, razen v primerih velikih pregrad (pa še tam pozitivno vpliva dušenje).

Poleg resonance celotne pregrade pa je potrebno preveriti še posamezne izpostavljene elemente pregrade. V območju diskontinuitet profila se lahko pojavijo visoke lokalne napetosti. Primer take izpostavljene konstrukcije je lom dolvodne linije pregrade, npr. zaradi ceste po kroni pregrade, ali pa posebni objekti, kot so stolpi za ravnanje z zapornicami ali za zajem vode.

območje visokih napetosti na obeh straneh - možnost razpokanja



Slika 3-36: Vpliv potresne obtežbe na krono pregrade.



Kjer potresne obtežbe lahko ocenimo z naslednjima pristopoma:

- **Uporaba poenostavljenega kvazi statičnega pristopa analize potresnih koeficientov**  
Metoda sloni na principu največjih (lokacijsko možnih) pospeškov, na podlagi katerih so izračunane odgovarjajoče inercialne sile, ki se privzamejo kot ekvivalentne statični obtežbi. To je konzervativen pristop, primeren le za manj občutljive betonske pregrade ali za predhodne analize (tj. v zgodnjih fazah načrtovanja).
- **Analiza dinamičnega odziva**  
Metoda sloni na uporabi metode končnih elementov (MKE) za prečni profil pregrade. Z MKE obravnavamo celoten kompleks, ki obsega: rezervoar (vodni kontinuum) - pregrado - temeljni polprostor (viskoelastični polprostor). Interakcija teh treh potresnih sistemov je pri poenostavljeni analizi potresnih koeficientov zanemarljiva, zato je to metodo potrebno uporabiti pri vseh večjih pregradah na potresnih območjih.

Intenziteta potresnih sunkov je izražena kot razmerje potresnih pospeškov proti gravitacijskem pospešku (g). Upoštevamo dve vrednosti  $\alpha_h$  in  $\alpha_v$ , horizontalni oziroma vertikalni koeficient potresnega pospeška. Okvirne vrednosti  $\alpha_h$  lahko odčitamo iz podane tabele.

**Preglednica 3-4:** Okvirne vrednosti koeficienta potresnega pospeška

Koeficient $\alpha_h^*$	modificirana Mercallijeva lestvica	ocena škode	sezmično področje po lestvici USA
0.0	/	ni škode	0
0.05	VI	manjša	1
0.1	VII	srednja	2
0.15	VIII-IX	velika	3
0.20	VIII-IX	katastrofalna	4

\*za vrednost  $\alpha_v$  vzamemo običajno vrednost  $0,5 \alpha_h$

Izjemoma pa se lahko pojavijo tudi zemeljski pospeški večji od navedenih. Opazovan je bil že  $\alpha_h = 0.6 - 0.8$ , ki je porušil pregrado Paicoima v ZDA.

Na podlagi potresnih koeficientov izračunamo inercialne sile na pregrado. Komponenti inercialne sile mase pregrade sta tedaj:

$$P_{pmh} = \pm \alpha_h P_m \quad \text{horizontalna komponenta}$$

$$P_{pmv} = \pm \alpha_h P_m \quad \text{vertikalna komponenta,}$$

pri čemer privzamemo, da obe sili delujeta v težišču pregrade.

### Hidrodinamične sile pri potresu prinaša reakcija vode na potresni pospešek.

Za hidrodinamični pritisk vodnega telesa privzamemo, da je porazdeljen parabolično vzdolž globine in znaša:

$$P_{pwh} = C_e \alpha_h \rho_w g z_{\max}$$

kjer predstavlja  $z_{\max}$  največjo globino na odseku jezua in  $C_e$  brezdimenzijski faktor pritiska, odvisen od razmerja  $z_1/z_{\max}$  in naklonskega kota vodne strani pregrade ( $\theta$ ).

**Preglednica 3-5: Koeficient seizmičnega pritiska  $C_e$** 

Razmerje $z_1 / z_{\max}$	Koeficient pritiska $C_e$	
	$\theta = 0^\circ$	$\theta = 15^\circ$
0.2	0.35	0.29
0.4	0.53	0.45
0.6	0.64	0.55
0.8	0.71	0.61
1.0	0.71	0.63

Skupna hidrodinamična obtežba je podana kot:

$$P_{\text{pwh}} = 0.66 \cdot C_e \cdot a_h \cdot z_1 \cdot r_w \cdot g \cdot \sqrt{z_1 z_{\max}}$$

in deluje na višini  $0.4z_1$  nad ravnino X-X.

Kot začetno grobo oceno lahko včasih upoštevamo učinek hidrodinamične obtežbe  $P_{\text{pwh}}$  kot 50% povišanje vrednosti  $P_{\text{pmh}}$ .

Vertikalna hidrodinamična obtežba  $P_{\text{pww}}$  deluje skozi težišče površine  $A_1$  in znaša:

$$P_{\text{pww}} = \pm a_v \cdot P_{\text{wv}}.$$

Običajno predpostavimo, da se vzgonska sila ob delovanju potresnih pospeškov ne spremeni.

### 3.2.1.4 Kombinacija obtežnih primerov

Betonska pregrada mora biti dimenzionirana na najbolj neugodno kombinacijo obtežb, ki imajo razumno verjetnost, da se dogodijo hkrati.

Obtežbe, ki smo jih doslej obravnavali, imajo različne ovojnice v smislu pojavnosti, verjetnosti, intenzitete in trajanja. V posameznih obtežnih primerih so te obtežbe združene glede na namen preverjanja konstrukcije.

Tri naslednje kombinacije obtežbe pokrivajo skoraj vse okoliščine. Označimo jih kot:

- običajni obtežni primer (OOP),
- izjemni obtežni primer (IOP),
- ekstremni obtežni primer (EOP).

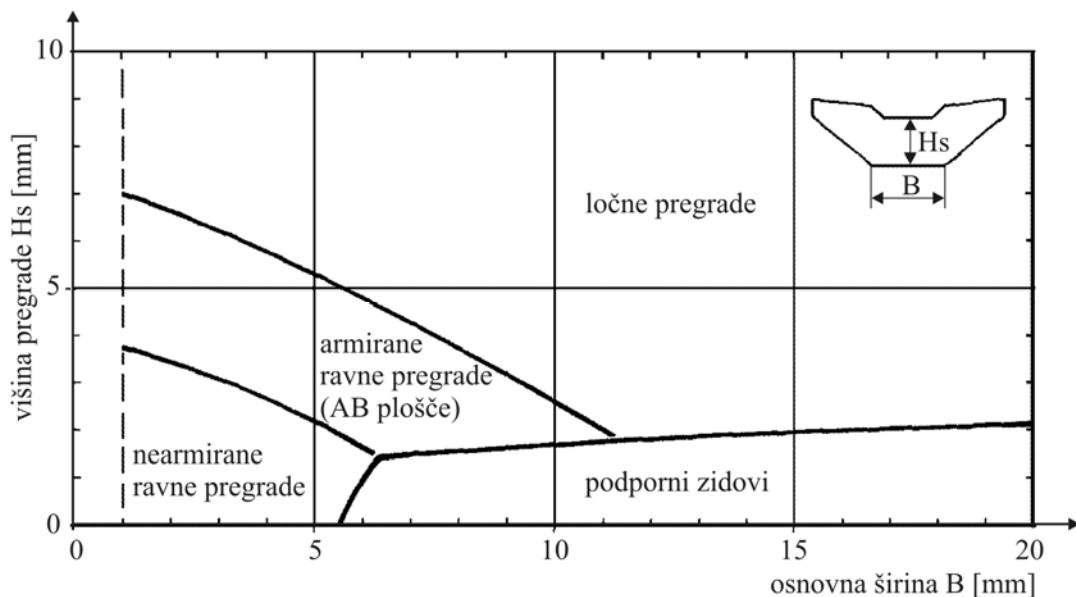
Za vsakega od njih so predpisani (različni) faktorji varnosti.

**Preglednica 3-6: Kombinacija obtežnih primerov**

Vir obtežbe:	opis	Kombinacija obtežbe		
		Običajna OOP	Izjemna IOP	Ekstremna EOP
<b>Osnovna</b>				
zgornja voda	pri KNP		✓	
	pri OMK	✓		✓
spodnja voda	pri MKSV	✓		✓
	min.		✓	
lastna teža	/	✓	✓	✓
vzgon	drenaža deluje	✓	✓	
	drenaža ne deluje		✓	✓
<b>Dodatna</b>				
sedimenti	/	✓	✓	✓
led		✓	✓	✓
beton		✓		✓
temperatura	min. v času dogodka		✓	
<b>Posebna</b>				
potresna	kontrola na največji potres			✓

1. KNP = Načrtovana kota visokih voda; OMK = običajna maksimalna kota, t.j. najvišja kota regulacijskega objekta preliva (zapornice, zaklopke); MKSV = maksimalna kota spodnje vode
2. IOP = presoja se izvede za primer, ko so izpusti blokirani.

Zgornja tabela predstavlja le osnovno vodilo pri določanju ustreznega obtežnega primera in zato mora inženir ob konkretnem primeru upoštevati še druge možne kombinacije obtežbe, ki bi utegnile biti merodajne pri dimenzioniranju (nalet plovila ipd.).



Slika 3-37: Primernost posameznih tipov pregrad

**Globalno statično ravnotežje**

Da pregrada ne zdrsne (premik) in se ne zvrne (zasuk) je potrebno v vseh pogojih zagotoviti:

$$\Sigma H = \Sigma V = 0 \quad \text{in} \quad \Sigma M = 0$$

pri čemer upoštevamo vse nastopajoče (aktivne in pasivne) sile oz. momente.

### 3.2.2 Analiza stabilnosti težnostnih pregrad

Pri stabilnostni analizi težnostnih pregrad moramo dokazati dovolj veliko stopnjo varnosti pred sledečimi nevarnostmi:

- rotacije-zvrnitve pregrade
- translacije-zdrsa pregrade
- preseženih tlačnih napetosti in loma materiala.

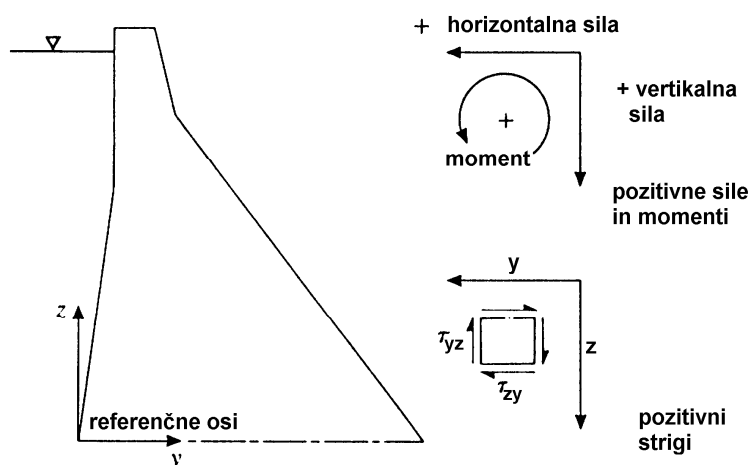
Prva dva kriterija kontrolirata splošno (generalno) stabilnost konstrukcije. Oba morata biti zadovoljena v vseh horizontalnih prerezih znotraj pregrade in v temeljnih tleh. Zadnji kriterij pa mora zadostiti pogojem, predpisanim (določenim) za nosilnosti betona vgrajenega v pregrado, in skalnate podlage. Običajno je pri dimenzioniranju pregrade kritičen kriterij zdrsa.

#### 3.2.2.1 Rotacija pregrade

Enostaven koeficient varnosti  $F_0$  lahko izrazimo glede na momente, delujoče na točko katerekoli horizontalne ravnine na zračni strani pregrade.

$F_0$  torej definiramo kot:  $F_0 = \Sigma M_+ / \Sigma M_-$ ,

kjer smo pri izbiri smeri uporabljali naslednjo konvencijo oz. dogovor o oznakah:



Slika 3-38: Smeri sil, momentov in strigov

Pri  $\Sigma M_-$  je potrebno posebej poudariti, da je potrebno upoštevati tudi vzgonske pritiske.

Za koeficient varnosti  $F_0$  so sprejemljive vrednosti večje od 1.25, čeprav so zaželjene vrednosti  $F_0 > 1.5$ .

Nevarnost zvrnitve celotnega, intaktnega profila je v realnih primerih relativno majhna. Sile, ki povzročajo prevrnitev (vodni pritisk) povzročajo tudi prekoračitev napetosti na zračni strani pregrade ter nateznih napetosti na vodni strani, ki povzročajo napredujoče lokalne razpoke. Veljavnost prevrnitvenega kriterija kot kriterija za načrtovanje je torej malo verjetna.

#### 3.2.2.2 Kontrola zdrsa

Stabilnost pregrade proti zdrsu je funkcija obtežnega primera ter upora proti translatorsnemu premiku, ki se lahko mobilizira v katerikoli ravnini. Izražamo jo kot faktor varnosti proti zdrsu  $F_s$ , ki ga ocenimo glede na eno od treh definicij koeficientov:

- koeficient zdrsa,  $F_{SS}$ ;
- koeficient strižnega trenja,  $F_{SF}$ ; ali
- koeficient mejnega ravnotežja,  $F_{LE}$ .

Posebej moramo biti pozorni na različne diskontinuitete, saj se običajno pojavljajo tri kritična mesta zdrsa:

- horizontalni konstrukcijski stiki,
- stik betonske pregrade s kamnito podlago (ali drenažni sloj!),
- stabilnost temeljnih tal proti zdrsu (geološke lastnosti - slojevitost).

Za načrtovanje zahtevane varnosti pregrade proti zdrsu moramo torej dobro poznati geološke lastnosti lokacije pregrade. Osnovna parametra strižnega upora sta kohezija ( $c$ ) in strižni kot ( $\varphi$ ). Okvirne vrednosti so podane v naslednjih tabelah:

**Preglednica 3-7: Okvirne vrednosti parametrov strižne odpornosti**

Položaj strižne/drsne ploskve		Kohezija $c$ [ $\text{MN m}^{-2}$ ]	Trenjski kot $\tan \varphi$
masivni beton	nepoškodovan	1.5 - 3.5	1.0 - 1.5
	horizontalen konstrukcijski stik	0.8 - 2.5	1.0 - 1.5
beton/skala	mejna plokev	1.0 - 3.0	0.8 - 1.8
masivna skala	trdna	1.0 - 3.0	1.0 - 1.8
	slabša	<1.0	<1.0

**Preglednica 3-8: Strižne karakteristike temeljnih tal**

Opis temeljenja	Kohezija $c$ [ $\text{MN m}^{-2}$ ]	Trenjski kot $\tan \varphi$
<b>TRDNA SKALA</b>		
Splošno: primerna izvorna skala; malo nepravilnosti v strukturi; nepredelana in nepreperena	> 1.0	> 1.0
gnajs	1.3	1.7
granit	1.5	1.9
sljuda	3.0	1.3
peščenjak	1.0	1.7
<b>SLABŠA SKALA</b>		
gnajs, izvoren	0.6	1.0
granit, preperen	0.3	1.3
grob peščenjak	<1.0	0.6
apnenec, kompakten	0.3	0.7
sljuda	0.4	0.7
peščenjak	0.1	0.6
<b>KRITIČNA SKALA</b>		
prelomnica/zdrobljena cona materiala	<0.2	<0.3
razpoka/stik polnjen z glino	<0.1	<0.2

**Preglednica 3-9: Primeri zmanjševanja parametrov strižne odpornosti kamnin**

Tipi skale in razmere		Kohezija $c$ [ $\text{MN m}^{-2}$ ]	Trenjski kot $\tan \varphi$
gnajs "A" :	trden	1.0	1.7
	stikovani/razčlenjeni	0.4	0.5
granit "B" :	trden	1.0	1.8
	preperel/nepovezan	0.1	0.8
skriljavec "C" :	suh	0.2	0.4
	nasičen	0	<0.2

**a) Koeficient zdrsa, F<sub>SS</sub>:**

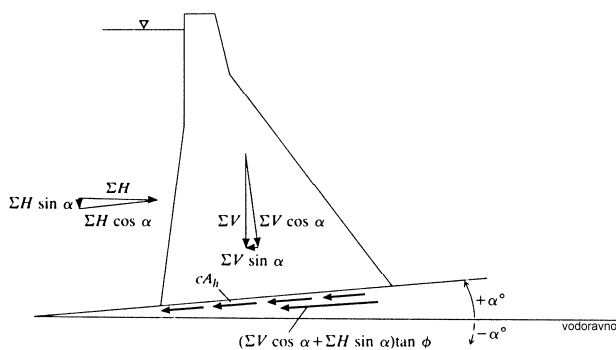
Koeficient zdrsa izražamo kot funkcijo enostavnega drsenja preko ravnine zdrsa. Privzamemo samo trenjski upor, brez mobilizacije strižnega kota ali kohezije. Koeficient zdrsa F<sub>SS</sub>, tako dobi vrednost:

$$F_{SS} = \Sigma H / \Sigma V .$$

Kadar je drsna ravnina nagnjena pod majhnim naklonskim kotom  $\alpha$  navzgor, tako dobimo:

$$F_{SS} = \frac{(\Sigma H / \Sigma V) - \tan \alpha}{1 + (\Sigma H / \Sigma V) \tan \alpha} .$$

Pri oceni F<sub>SS</sub> predstavljata  $\Sigma H$  in  $\Sigma V$  odgovarjajoče maksimalne in minimalne vrednosti glede na najbolj neugoden obtežni primer.



Slika 3-39: Projekcije sil na ravnino drsenja

Vrednosti F<sub>SS</sub> so lahko:

maks. 0.75	za specificirano redno obtežbo,
maks. 0.9	v primeru ekstremne obtežbe,
maks. 0.5	v primeru slabše nosilnih temeljnih tal.

Temeljna tla pa so običajno izkopana pod primernim naklonom, da povečamo F<sub>SS</sub>.

**b) Koeficient strižnega trenja, F<sub>SF</sub>:**

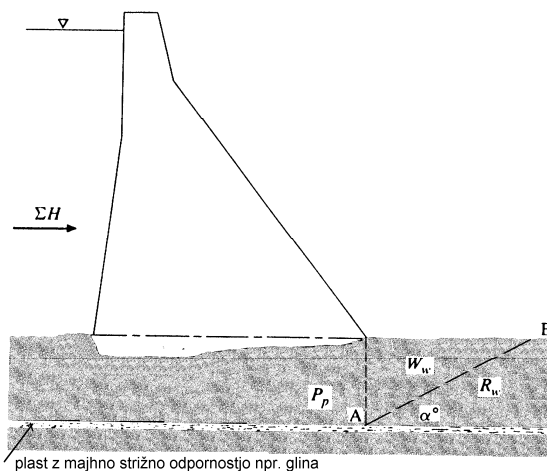
F<sub>SF</sub> definiramo kot razmerje največjega strižnega upora (S), ki ga lahko mobilizira material v določeni ravnini, proti celotni horizontalni obtežbi.

$$F_{SF} = S / \Sigma H$$

kjer lahko izrazimo:

$$S = \frac{cA_h}{\cos \alpha (1 - \tan \varphi \tan \alpha)} + \Sigma V \tan (\varphi + \alpha) \quad \text{kNm}^{-1}$$

$R_w$  = strižni upor na nagnjeni ploskvi AB  
 $= cA_{AB} + (W_w \cos \alpha + \Sigma H \sin \alpha) \tan \varphi$   
 kjer je  $A_{AB}$  površina ravnine AB



Slika 3-40: Primer vmesne plasti z majhno strižno odpornostjo

V primeru horizontalne ravnine se enačba poenostavi:  $S = cA_h + \Sigma V \tan \varphi$

Iz te enačbe izrazimo standardni izraz za koeficient strižnega trenja:

$$F_{SF} = \frac{cA_h + \Sigma V \tan \varphi}{\Sigma H}$$

Včasih je primerno da upoštevamo še dolvodni pasivni odpor zemljine, P<sub>p</sub> kot dodatno komponento strižnega upora. Pri tem se spremeni enačba za koef. strižnega trenja in dobimo:

$$F_{SF} = (S + P_p) / \Sigma H$$

kjer je:

$$P_p = \frac{cA_{AB}}{\cos \alpha (1 - \tan \varphi \tan \alpha)} + W_w \tan(\varphi + \alpha)$$

in predstavlja  $W_w$  težo zemljine nad potencialno drsino. V primeru plasti z majhnim strižnim uporom je mogoče predpostaviti da obstaja privilegirana drsina in, da velja v zgornji enačbi  $S = 0.0$ .

**Preglednica 3-10:** Okvirne vrednosti koeficienta strižnega trenja glede na obtežbo, kot jih priporoča USBR (1987, US Bureau of Reclamation)

Položaj zdrsne ravnine	Kombinacija obtežbe		
	Običajna	Izjemna	Ekstremna
betonsko telo pregrade, temeljni stik	3.0	2.0	>1.0
temeljna skala	4.0	2.7	1.3

### c) Koeficient mejnega ravnotežja, F<sub>LE</sub>

Princip mejnega ravnotežja pri stabilnostni analizi zdrsa uporablja konvencionalno mehaniko tal za določanje stabilnosti prereza proti zdrsu.  $F_{LE}$  torej predstavlja razmerje med maksimalno možno mobilizirano strižno napetostjo (odpornostjo,  $\tau_f$ ) in dejansko strižno napetostjo v prerezu ( $\tau$ ).

$$F_{LE} = \tau_f / \tau$$

Če za določitev mobilizirane strižne odpornosti uporabimo običajni Mohr-Coulomb-ov izraz dobimo enačbo:

$$F_{LE} = \frac{c + \sigma_n \tan \varphi}{\tau}$$

Za primer enotne drsine pod naklonom  $\alpha$  je mogoče  $F_{LE}$  izraziti:

$$F_{LE} = \frac{cA_h + (\Sigma V \cos \alpha + \Sigma H \sin \alpha) \tan \varphi}{\Sigma H \cos \alpha - \Sigma V \sin \alpha}$$

To enačbo je mogoče ustrezno prilagoditi tudi za razčlenjeno drsino, ki se v praksi razmeroma pogosto uporablja.

Priporočene najmanjše vrednosti faktorja  $F_{LE}$  so:

- v primeru običajnih obtežnih primerov  $F_{LE} > 2.0$ ,
- v primeru ekstremnih obtežnih primerov  $F_{LE} > 1.3$ .

### Primerjava konceptov pri koeficientih stabilnosti proti zdrsu

Koeficienti  $F_{SS}$ ,  $F_{SF}$  in  $F_{LE}$  se razlikujejo v konceptu pojma stabilnosti proti zdrsu. Razlikujejo pa se tudi glede na občutljivost glede na parametre strižne odpornosti  $c$  in  $\varphi$ . Zato je potrebna kritična presoja za vsak posamezni primer in tehtna odločitev na podlagi poznavanja lastnosti posameznih koeficientov, kdaj kateri način uporabiti in ali program raziskav temeljenja zadošča.

Koeficient strižnega trenja  $F_{SF}$  je zelo občutljiv na parametra strižne odpornosti  $c$  in  $\varphi$ , ki ju je potrebno za tovrstno analizo dobro poznati - to pa zahteva obsežne geološke raziskave. Koeficient mejnega ravnotežja  $F_{LE}$  je relativno mlad koncept računanja stabilnosti pregrade proti zdrsu (1981). Podobno je odvisen od parametrov  $c$  in  $\varphi$  kot  $F_{SF}$ . Primernejši je za pregrade na manj kompaktnih podlagah - zahteva se kontrola večih drsin.



Koeficientov  $F_{SS}$ ,  $F_{SF}$  in  $F_{LE}$  medsebojno ne moremo neposredno primerjati. Koeficient stabilnosti in zdrsna izbire projektant glede na specifično pregrado ob poznavanju razmer na terenu. Pri tem je potrebno upoštevati tudi vedno prisotno negotovost glede na razmere pod stično ploskvijo pregrada - kamnita podlaga, ne glede na obseg izvršenih raziskav.

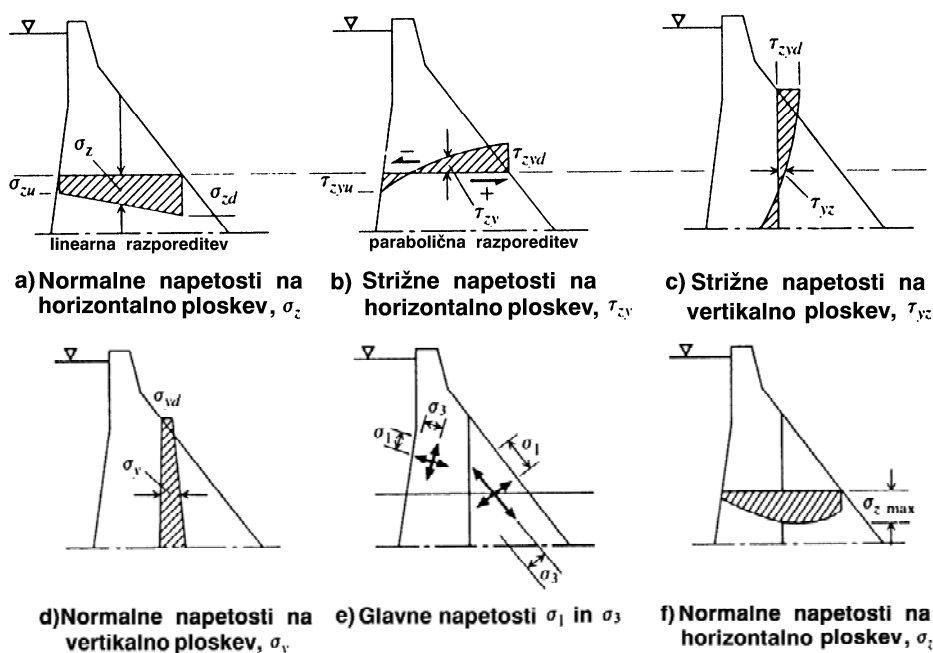
**Preglednica 3-11:** Okvirna primerjava koeficientov stabilnosti proti zdrsni za trikotni težnostni profil

Odklon iz ravnine, $\alpha$	$c=0; \varphi=30^\circ$			$\Sigma c=\Sigma H; \varphi=0^\circ$	
	$F_{SS}$	$F_{SF}$	$F_{LE}$	$F_{SF}$	$F_{LE}$
-5	0.71	0.68	0.74	0.86	0.89
0	0.66	0.87	0.87	1.00	1.00
+5	0.55	1.07	1.10	1.13	1.18
+10	0.44	1.33	1.39	1.29	1.41
+15	0.34	1.52	1.79	1.44	1.75

### 3.2.2.3 Analiza napetosti: gravitacijska metoda

Gravitacijska metoda je primerna za preliminarno analizo betonskih pregrad. Posebej je primerna za monolitne pregrade in za pregrade, kjer monolitni bloki med seboj niso povezani s strižnimi peresi. Pri gravitacijski analizi določamo naslednje napetosti:

1. **vertikalne normalne napetosti,  $\sigma_z$ , na horizontalno ravnino;**
2. **horizontalne in vertikalne strižne napetosti,  $\tau_{zy}$  in  $\tau_{yz}$ ;**
3. **horizontalne normalne napetosti,  $\sigma_y$ , na vertikalno ravnino; in**
4. **glavne napetosti,  $\sigma_1$  in  $\sigma_2$  (smer in velikost).**



Slika 3-41: Razporeditev napetosti glede na smer ploskve

#### • Vertikalne normalne napetosti

Lahko izračunamo za katerokoli horizontalno ravnino z enačbo:

$$\sigma_z = \frac{\Sigma V}{A_h} \pm \frac{\Sigma M \cdot y'}{I}$$

- **Horizontalne strižne napetosti**

Strižne napetosti se pojavijo vzdolž celotne horizontalne ravnine kot posledica spremembe normalnih napetosti. Običajno je za prvo oceno dovolj, če ocenimo mejne strižne napetosti, t.j. strižne napetosti ob gorvodni in dolvodni strani pregrade.

Če je kot med vertikalno in stranico pregrade na gorvodni strani  $\varphi_u$  in kot na dolvodni strani pregrade  $\varphi_d$  ter hidrostatični pritisk (na gorvodni strani) v ravnini, ki jo analiziramo  $p_w$ , lahko izrazimo strižne napetosti z enačbama:

$$\tau_u = (p_w - \sigma_{zu}) \tan \varphi_u \quad (\text{vodna stran pregrade}) \quad \text{in}$$

$$\tau_d = \sigma_{zd} \tan \varphi_d \quad (\text{zračna stran pregrade}).$$

- **Horizontalne normalne napetosti**

Horizontalne napetosti v vertikalni ravnini,  $\sigma_y$ , lahko določimo glede na ravnotežje horizontalnih strižnih sil, ki delujejo nad in pod hipotetičnim horizontalnim elementom pregrade. Razlika teh strižnih sil je izravnana z normalnim pritiskom v vertikalni ravnini. Robne vrednosti za  $\sigma_y$  tako znašajo:

$$\text{gorvodna stran: } \sigma_{yu} = p_w + (\sigma_{zu} - p_w) \tan^2 \varphi_u,$$

$$\text{dolvodna stran: } \sigma_{yd} = \sigma_{zd} \tan^2 \varphi_d.$$

- **Glavne napetosti**

Glavne napetosti  $\sigma_1$  in  $\sigma_3$  lahko določimo iz napetosti  $\sigma_z$  in  $\sigma_y$ , s konstrukcijo Mohrovega kroga ali z uporabo naslednjih enačb:

$$\text{maksimalne napetosti: } \sigma_1 = \frac{\sigma_z + \sigma_y}{2} + \tau_{\max}$$

$$\text{minimalne napetosti: } \sigma_3 = \frac{\sigma_z + \sigma_y}{2} - \tau_{\max}$$

$$\text{kjer je: } \tau_{\max} = \sqrt{\frac{\sigma_z - \sigma_y}{2} + \tau^2}$$

Gorvodna in dolvodna stranica pregrade sta ravnini glavnih napetosti. Napetosti v teh prerezih so torej:

$$\begin{aligned} \text{Gorvodna stran:} \quad \sigma_{1u} &= \sigma_{zu} (1 + \tan^2 \varphi_u) - p_w \tan^2 \varphi_u \\ \sigma_{3u} &= p_w \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Dolvodna stran:} \quad \sigma_{1d} &= \sigma_{zd} (1 + \tan^2 \varphi_u) \\ \text{(brez vpliva spodnje vode)} \quad \sigma_{3d} &= 0 \end{aligned}$$

**Dovoljene napetosti in pojav razpok**

Tlačne napetosti v težnostnih pregradah, ki se pojavijo pri osnovni obtežbi so običajno zelo nizke in redko presegajo vrednost 2.0 - 3.0 MNm<sup>-2</sup>, razen v primeru največjih objektov.

Koeficient varnosti  $F_c$  izračunan glede na minimalno specificirano tlačno trdnost, je kljub temu predpisan in znaša  $F_c \geq 3.0$ , kar je pogost, a redko kritičen kriterij. Nekateri predpisi (USBR 1976) navezujejo  $F_c$  glede na kombinacijo obtežbe in pri tem predpisujejo največje vrednosti, kar prikazuje naslednja preglednica.

**Preglednica 3-12: Faktorji varnosti pri kombinacijah obtežbe**

Kombinacija obtežbe	Maksimalni faktor varnosti za tlačne napetosti	
	$F_c$ (beton)	$F_t$ (skala)
običajna - OOP	$3.0 (\sigma_{\max} \leq 10 \text{ MN/m}^2)^*$	4.0
izjemna - IOP	$2.0 (\sigma_{\max} \leq 15 \text{ MN/m}^2)^*$	2.7
ekstremna - EOP	1.0	1.3

\*  $\sigma_{\max}$  je največja dovoljena tlačna napetost

V tabeli so prikazane tudi vrednosti predpisane za  $F_t$ , ki se nanašajo na dovoljene tlačne napetosti v temeljni skali  $\sigma_r$ .

Včasih se pri kontroli napetosti lahko upošteva oz. predpostavi tudi, da se pojavijo horizontalne razpoke na gorvodni strani pregrade. To se zgodi, če vrednost napetosti  $\sigma_{zu}$  (računano brez vzgona) pade pod predpisano vrednost:

$$\sigma_{zu \min} = \frac{k'_d \gamma_w z - \sigma'_t}{F'_t}$$

kjer je:

- $k'_d$  koeficient učinkovitosti drenaže  
( $k'_d = 0.4$ , če drenaže delujejo in  $k'_d = 1.0$ , če drenaže ne delujejo)
- $\sigma'_t$  natezna napetost v betonu vzdolž površine horizontalnega stika
- $F'_t$  koeficient varnosti odvisen od kombinacije obtežbe  
( $F'_t = 3.0$  za OOP,  $2.0$  za IOP in  $1.0$  za EOP)

Pojav razpok je običajno dopusten samo v primeru ekstremnih obtežnih primerov, razen v slučaju starih pregrad, ki so bile dimenzionirane na drugačen način.

Za izračun predpostavimo, da razpoka v takem primeru napreduje do točke, kjer je  $\sigma_z = p_w$ . Iz analize izločimo območje razpokanosti in ponovno preverimo stabilnost in napetosti za nerazpokani del prereza. Pregrada je varna, če so na novo izračunane napetosti znotraj predpisanih vrednosti in če je tako izračunana stabilnost pregrade še vedno primerna (USBR 1976, 1987).

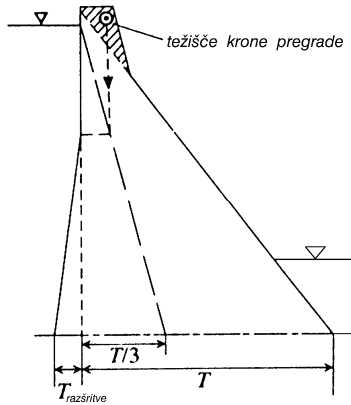
### 3.2.3 Oblikovanje težnostne pregrade

Pri oblikovanju težnostnih pregrad je le malo odstopanj od standardnega trikotnega profila. Pri manjših pregradah izhajamo iz osnovnega dolvodnega naklona v razmerju 0.75:1. Pri večjih pregradah je potrebno izvesti optimiranje prereza glede na lokalne pogoje.

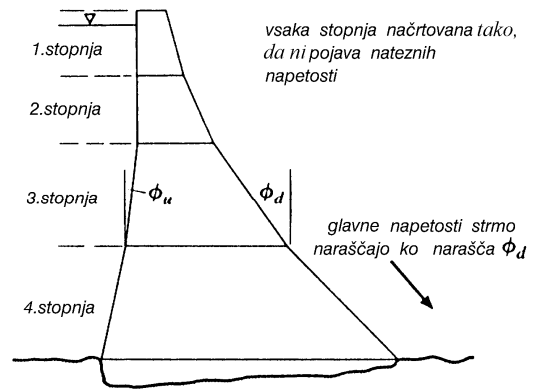
Pri tem poznamo dva osnovna načina:

- enostopenjski - pregrado računamo kot enoten trikotni profil
- večstopenjski - pregrado računamo po odsekih tako, da se odsekoma ne pojavijo natezne napetosti in da ne pride do preobremenitve materiala (slika)

Pregrado načrtujemo po ustreznih odsekih od zgoraj navzdol. Vsaka stopnja je načrtovana tako, da so napetosti v dovoljenem intervalu (torej ni nateznih napetosti). Izračunana oblika omogoča skrajno ekonomičnost glede količine vgrajenega betona, vendar je izvedba zahtevnejša. Gorvodno stran težnostnega profila pogosto oblikujemo z razširitvijo stične ploskve pregrada-temeljna podlaga. Prednost tega je podaljšani temeljni stik, kar omogoča boljše lastnosti pregrade glede na porazdelitev pritiskov in stabilnost proti zdrsu. Povečana je tudi potresna varnost. V primeru pregrad z razširjeno krono takšna gorvodna razširitev vpliva tudi na zmanjšanje nateznih napetosti, ki se lahko pojavijo na dolvodni strani v primeru prazne akumulacije.



Slika 3-42: Približna velikost razširitve pregrade

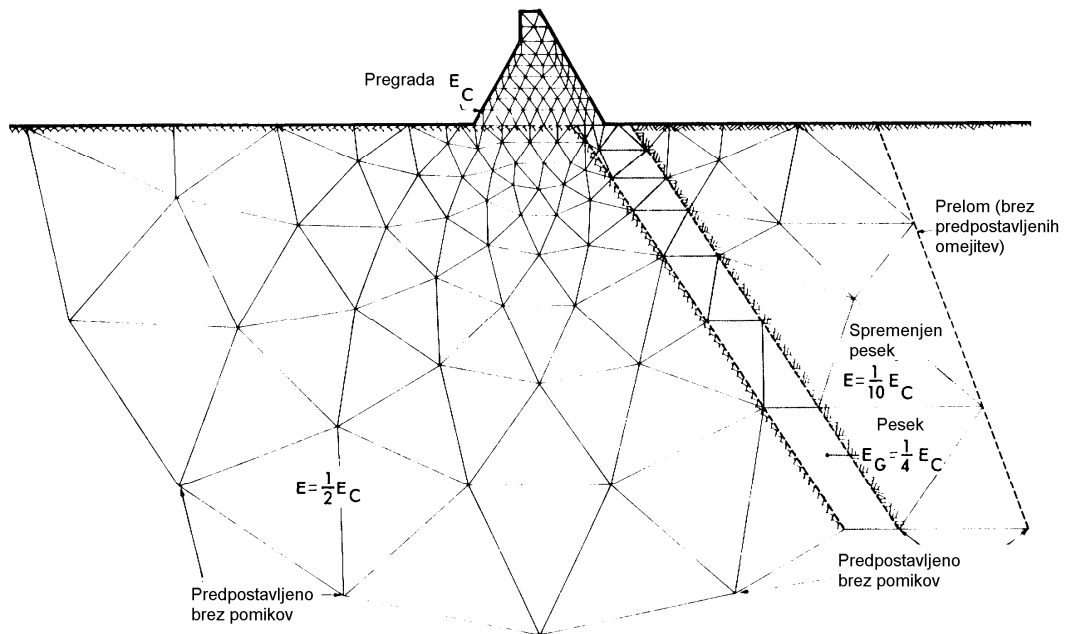


Slika 3-43: Stopenjsko načrtovanje pregrade

## MODERNEJŠE METODE ZA ANALIZO PREGRAD

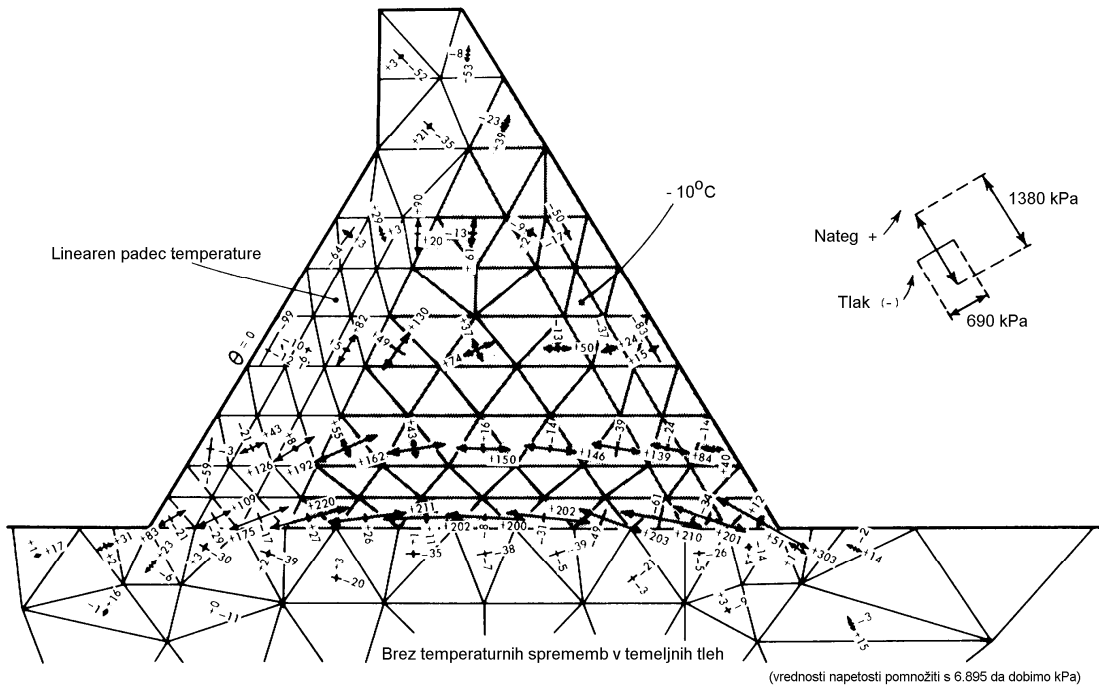
Račun po teh metodah je potrebno vedno izvesti v primeru večjih pregrad. Najpogosteje se uporablja metoda končnih elementov. Ogleдали si bomo le nekaj primerov, saj je ta metoda obravnavana pri drugih predmetih.

- Primer mreže končnih elementov težnostne pregrade (zajet še polprostor v temeljnih tleh):



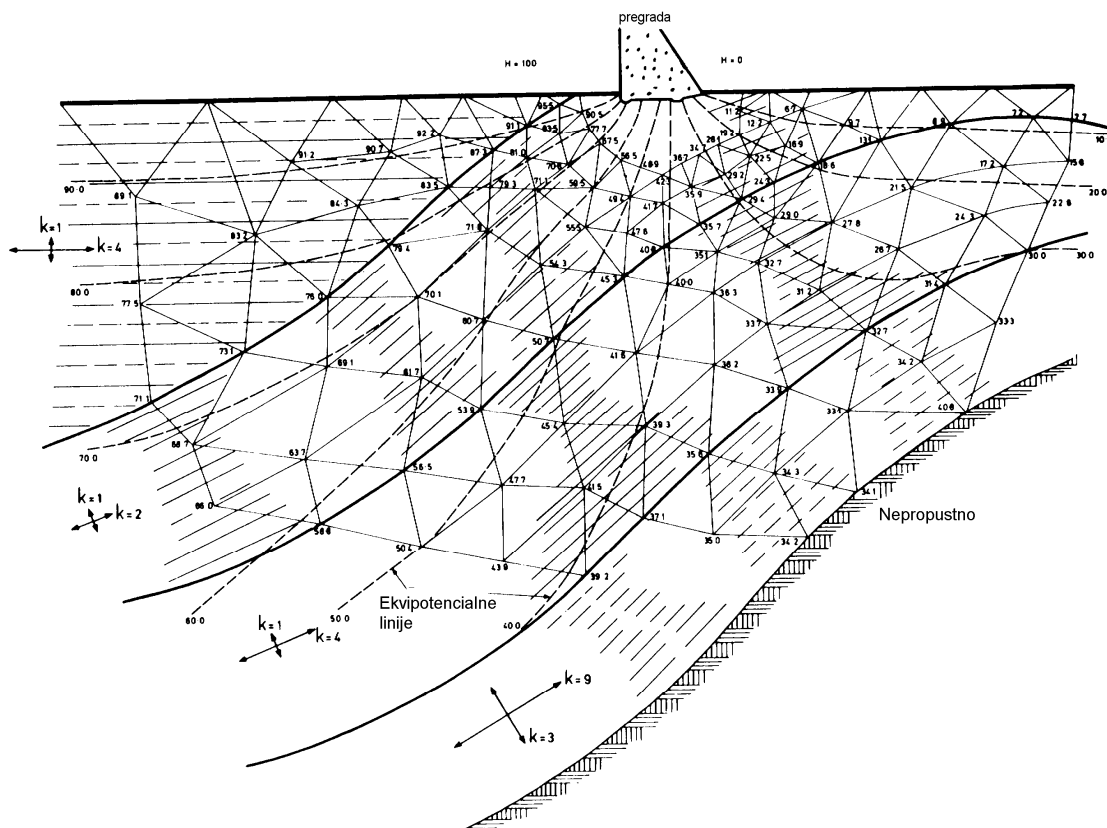
Slika 3-44: Mreža končnih elementov težnostne pregrade

- Nekaj posebnih primerov pri projektiranju težnostnih pregrad, kjer lahko uporabljamo metodo končnih elementov:
  - Napetosti v pregradi zaradi temperaturnih razlik: ekstremni primer - 1. zima po izgradnji pregrade. Hidratacijski proces še poteka, nizke zunanje temperature.



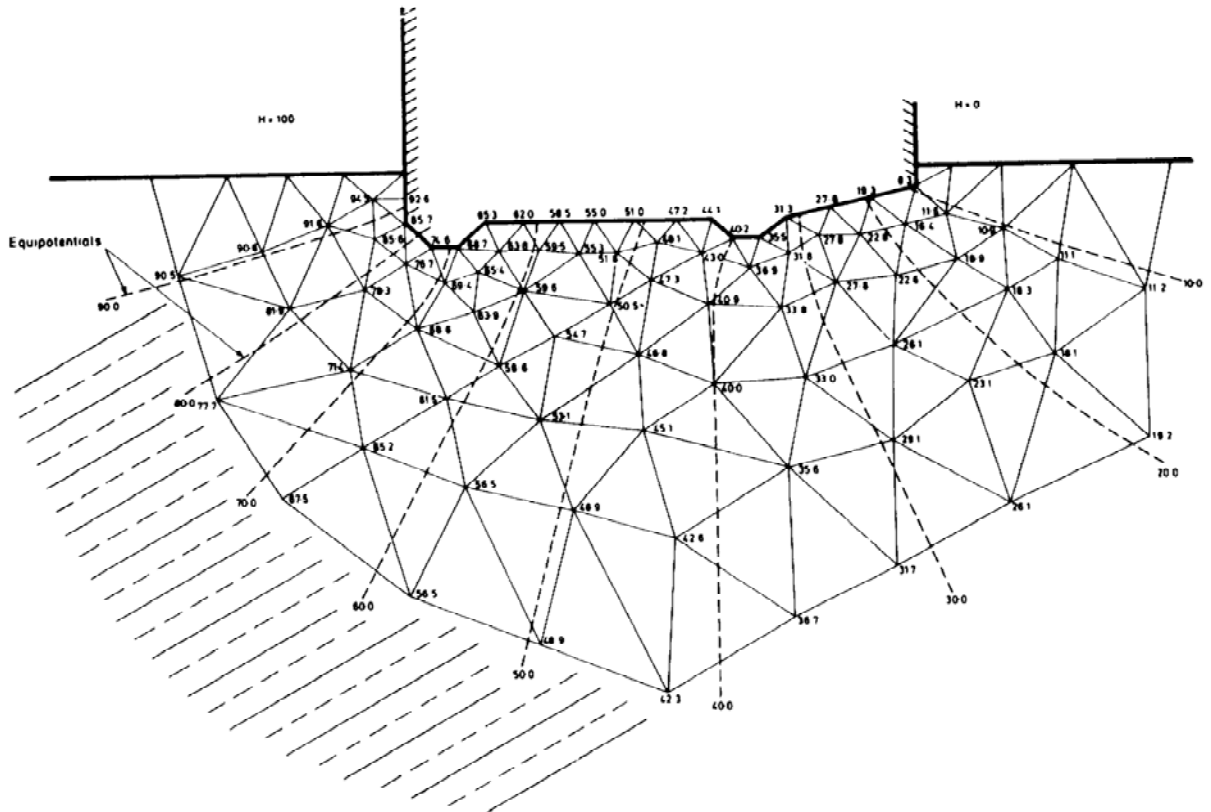
Slika 3-45: Napetosti v pregradi

- Razporeditev pornih pritiskov in pronicanje pod pregrado v primeru močno anizotropnih in nehomogenih temeljnih tal:



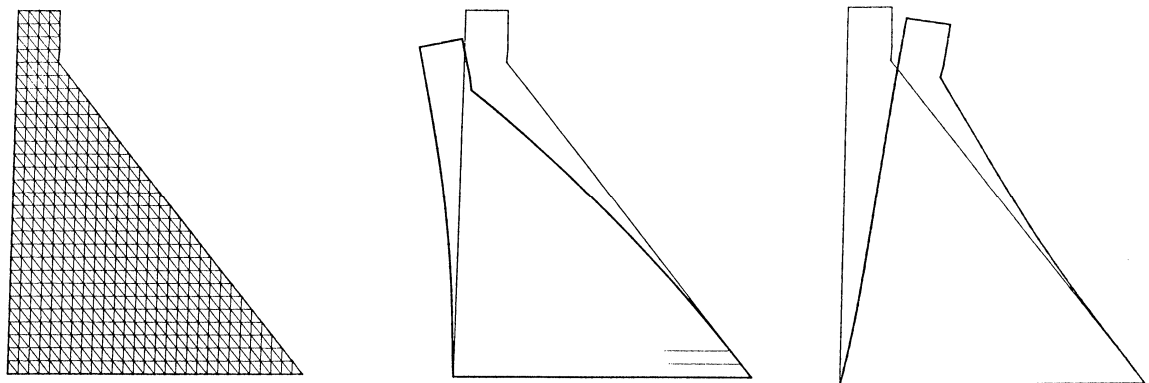
Slika 3-46: Porni tlaki in pronicanje pod pregrado

○ Detajl ekvipotencialnih črt ob spodnjem robu pregrade:



Slika 3-47: Ekvipotencialne črte pod pregrado

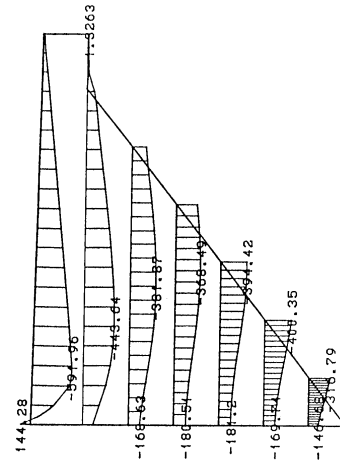
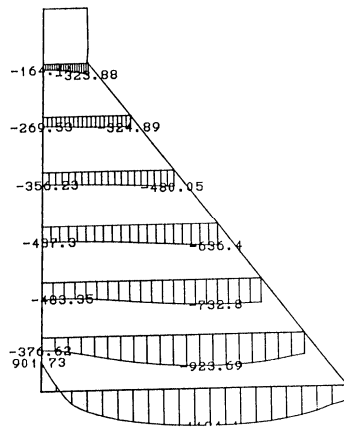
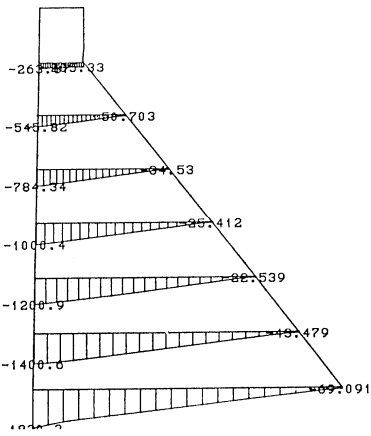
• Analiza razmer z MKE za MASIVNO PREGRADO



Slika 3-48: Mreža končnih elementov za masivno pregrado

Slika 3-49: Pomiki masivne pregrade pri obtežbi z lastno težo

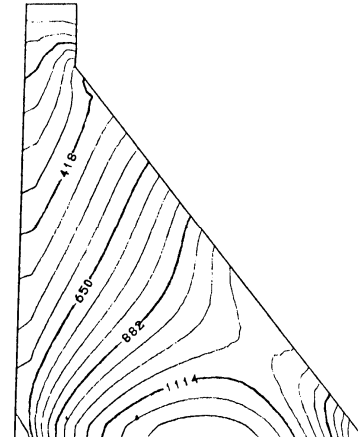
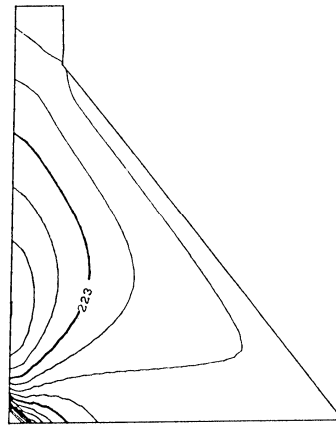
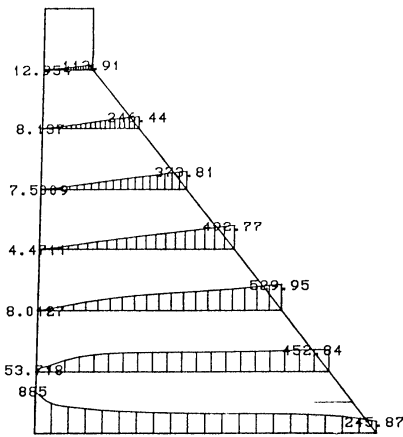
Slika 3-50: Pomiki masivne pregrade pri obtežbi z lastno težo in težo vode



Slika 3-51: Napetosti  $\sigma_z$  pri obtežbi z lastno težo

Slika 3-52: Napetosti  $\sigma_z$  pri obtežbi z lastno težo in težo vode

Slika 3-53: Napetosti  $\sigma_y$  pri obtežbi z lastno težo in težo vode

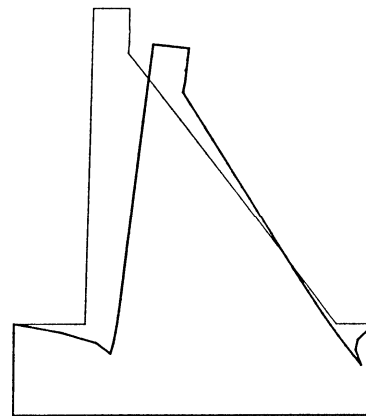
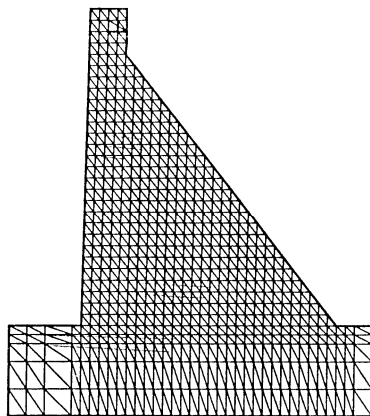


Slika 3-54: Strižne napetosti  $\tau_{xy}$  pri obtežbi z lastno težo in težo vode

Slika 3-55: Glavne napetosti  $\sigma_3$  pri obtežbi z lastno težo in težo vode

Slika 3-56: Glavne napetosti  $\sigma_1$  pri obtežbi z lastno težo in težo vode

• Analiza za MASIVNO PREGRADO in TEMELJNI POLPROSTOR

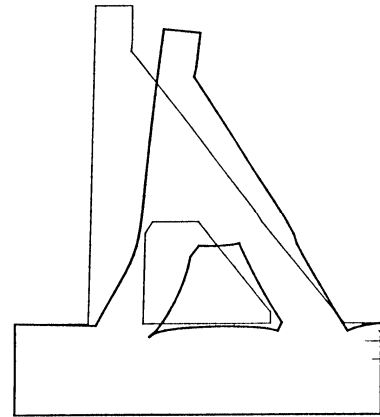
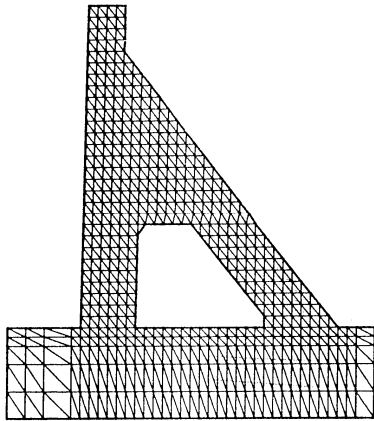


Slika 3-57: Mreža končnih elementov za masivno pregrado in temeljni polprostor

Slika 3-58: Pomiki masivne pregrade in temeljnega polprostor pri obtežbi z lastno težo in težo vode

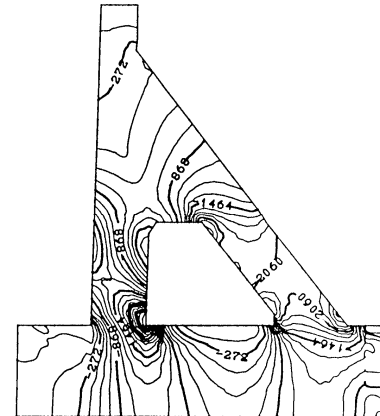
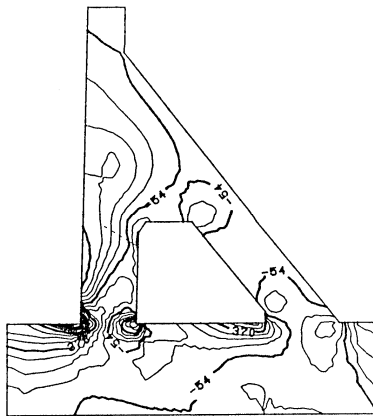


• **Analiza za OLAJŠANO masivno pregrado in TEMELJNI POLPROSTOR**



Slika 3-59: Mreža končnih elementov za olajšano masivno pregrado in temeljni polprostor

Slika 3-60: Pomiki olajšane masivne pregrade in temeljnega polprostora pri obtežbi z lastno težo in težo vode



Slika 3-61: Glavne napetosti  $\sigma_3$  pri obtežbi z lastno težo in težo vode

Slika 3-62: Glavne napetosti  $\sigma_1$  pri obtežbi z lastno težo in težo vode

### 3.2.4 Stabilizacija in nadvišanje

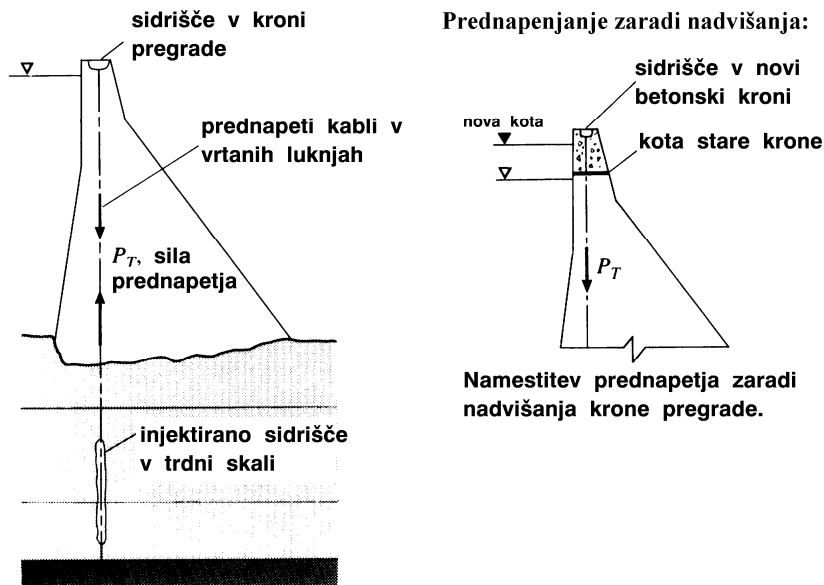
Številne stare pregrade niso dovolj varne glede na današnje kriterije. To stanje je posledica tedaj še omejenega poznavanja obnašanja obtežbe, materialov ter pregrad v preteklosti. Spremenjeni so lahko tako kriteriji obtežbe npr. maksimalne visoke vode ali pa je spremenjena (poslabšana) stabilnost posledica staranja materialov vgrajenih v pregrado.

Ukrepi za povečanje stabilnosti pregrade so lahko:

- vertikalno prednapenjanje pregrade
- konstrukcija podpornega nasipa na dolvodni strani

#### Prednapenjanje

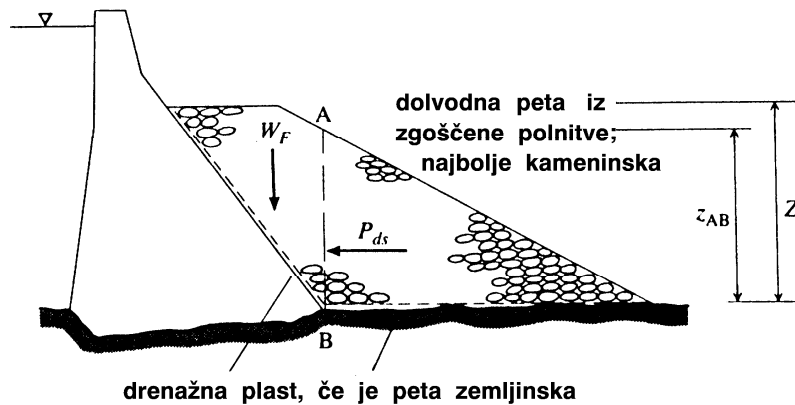
Silo prednapenjanja določamo glede na zahtevano izboljšanje koeficienta varnosti proti zdrsu ali proti zvrnitvi. Pri tem moramo biti pozorni na razmere pri prazni akumulaciji, ko se lahko zaradi prednapetja na zračni strani pregrade pojavijo natezne napetosti.



Slika 3-63: Sanacija pregrade

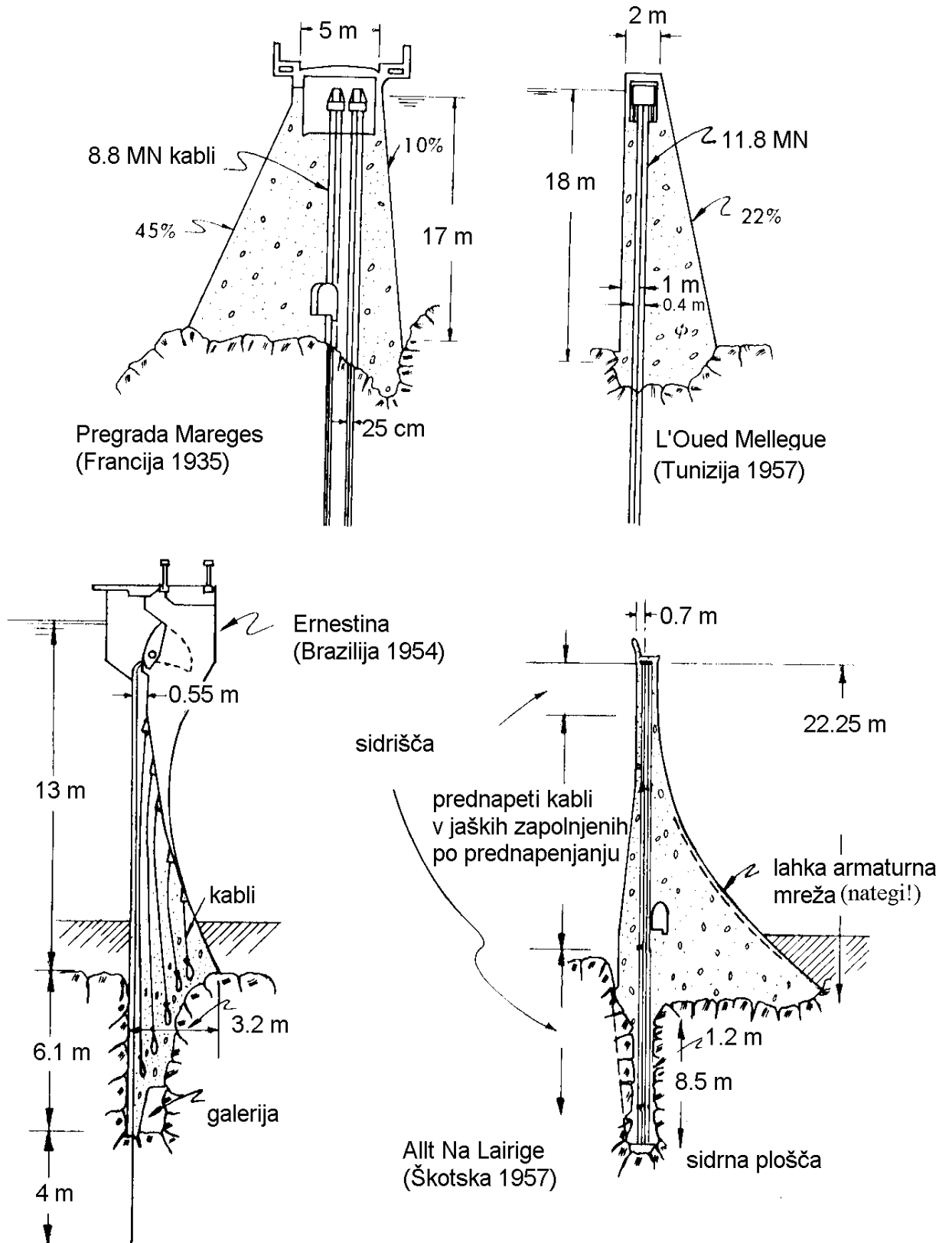
**Podporni nasip učinkuje na dva načina:**

- z lastno težo vgrajenega materiala,
- s pasivnim zemeljskim pritiskom v primeru rotacije ali zdrsa v primeru EOP.



Slika 3-64: Podporni nasip

**Primeri prednapenjanja pregrad**



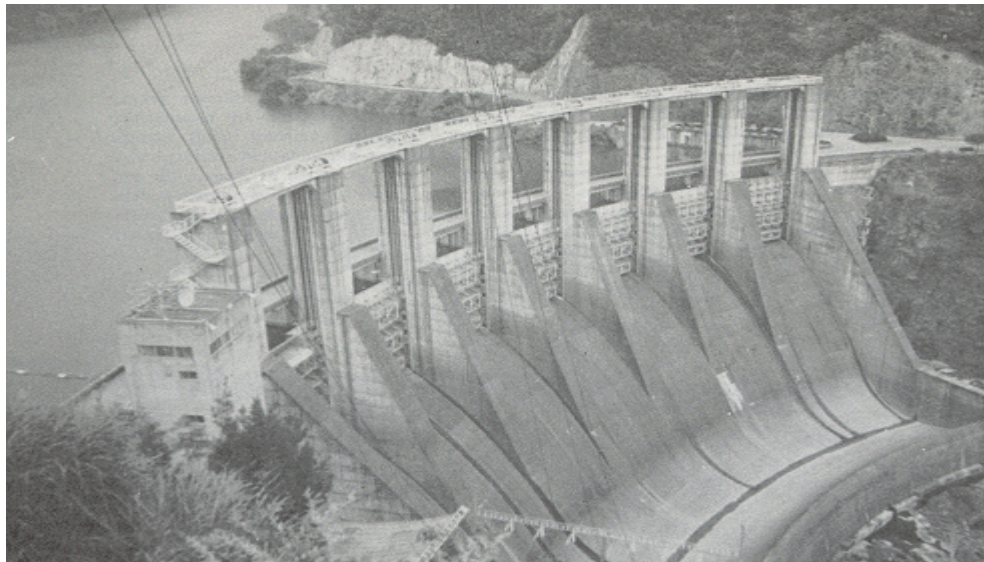
Slika 3-65: Prednapenjanje pregrad

### 3.3 Steberske pregrade

Steberske pregrade delimo na *dva osnovna tipa*:

- masivne steberske pregrade,
- Ambursenove steberske pregrade.

Ker so Ambursenove pregrade že zastarele bomo obravnavali samo masivne steberske pregrade.



Slika 3-66: Masivna steberska pregrada



Slika 3-66: Primer steberne pregrade Ajba<sup>15</sup>

<sup>15</sup> Vir: <http://slocold.ibe.si>



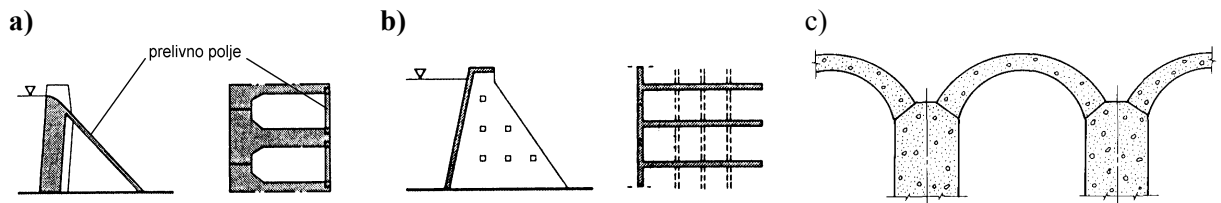
Slika 3-68: Steberska pregrada Loch Sloy

*Prednosti* stebrskih pregrad glede na težnostne so:

- ekonomičnost glede količine uporabljenega materiala
- na pregrado deluje manjši vzgon
- sposobnost prenašanja večjih deformacij temeljnih tal

*Slabosti* stebrskih pregrad v primerjavi s težnostnimi:

- znatno višja cena na enoto vgrajenega betona zaradi zahtevnejše konstrukcije
- mnogo večje tlačne napetosti v stiku s temeljnimi tlemi zahtevajo boljše temeljna tla

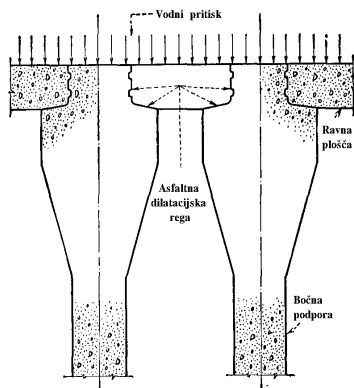


Slika 3-66: Osnovni tipi stebrskih pregrad (a-masivna steberska pregrada, b-Ambursenova steberska pregrada, c-ločna steberska pregrada)

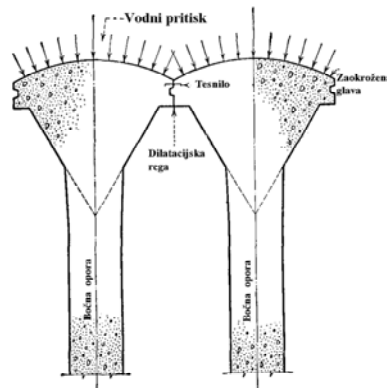
Dimenzioniranje na zdrs in dopustne napetosti stebrskih pregrad se izvaja podobno kot pri težnostnih, vendar s sledečimi *posebnostmi*:

- Vzgonski pritiski so učinkovito omejeni le na glavo stebra, kar povzroča drugačno porazdelitev vzgonskih pritiskov. Razbremenilna drenaža je potrebna le v izjemnih primerih.
- Vertikalna komponenta vodnih pritiskov  $P_{wv}$  na položnejšo gorvodno stran je večja v primerjavi s profilom težnostne pregrade. Koncept stabilnosti proti prevrnitvi je torej drugačen.
- V konstruktivnem smislu je masivna steberska pregrada sestavljena iz več "neodvisnih" enot. Vsaka enota je sestavljena iz glave stebra ter podporne stene - stebra. Stebri so razmaknjeni vzdolž dolžine jezua na razdalji 12-15 m. Konstrukcijska analiza se izvaja na tako enoto kot celoto (glava + steber).
- Analiza napetosti v taki enoti masivne steberske pregrade je kompleksna in težavna. V sodobni praksi se uporablja le metoda končnih elementov.
- Postopek projektiranja se opira na izkušnje iz dosedanjih pregrad za določitev izhodiščne oblike stebra, ki se potem z analizo napetosti in stabilnosti optimira.

**Primer oblikovanja glav masivnih stebriških pregrad**



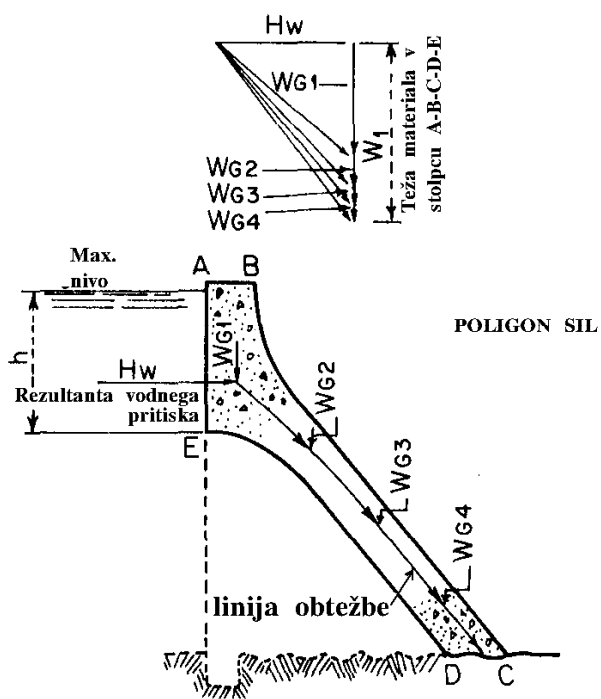
Slika 3-67: Ravno čelo glave MSP



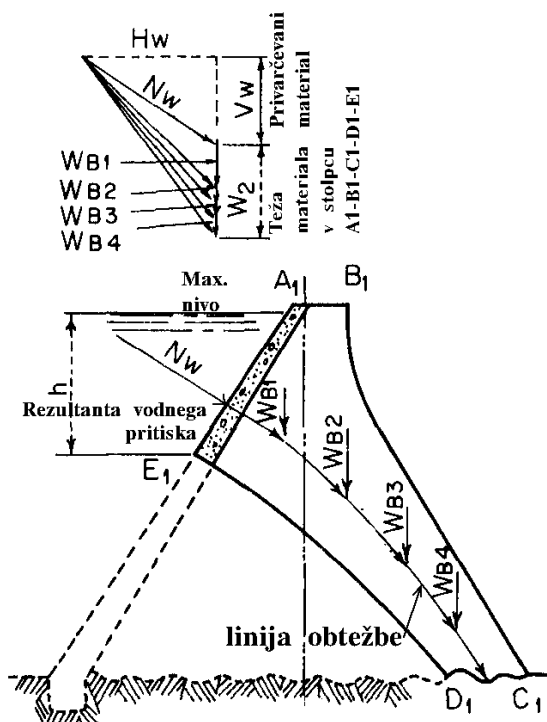
Slika 3-68: Zaokroženo čelo glave MSP

**Primerjava parametrov težnostne in stebriških pregrad**

**TEŽNOSTNA PREGRADA**

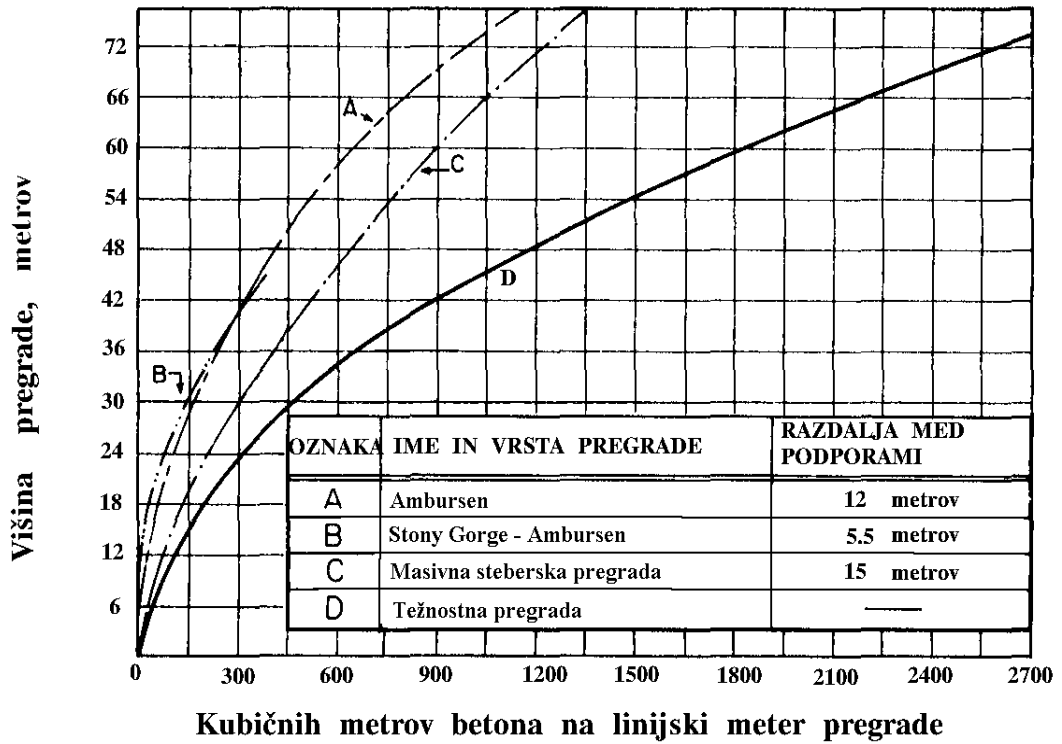


**STEBRSKA PREGRADA**



Slika 3-69: Primerjava prenosa rezultante vodnega pritiska pri težnostni in stebriški pregradi

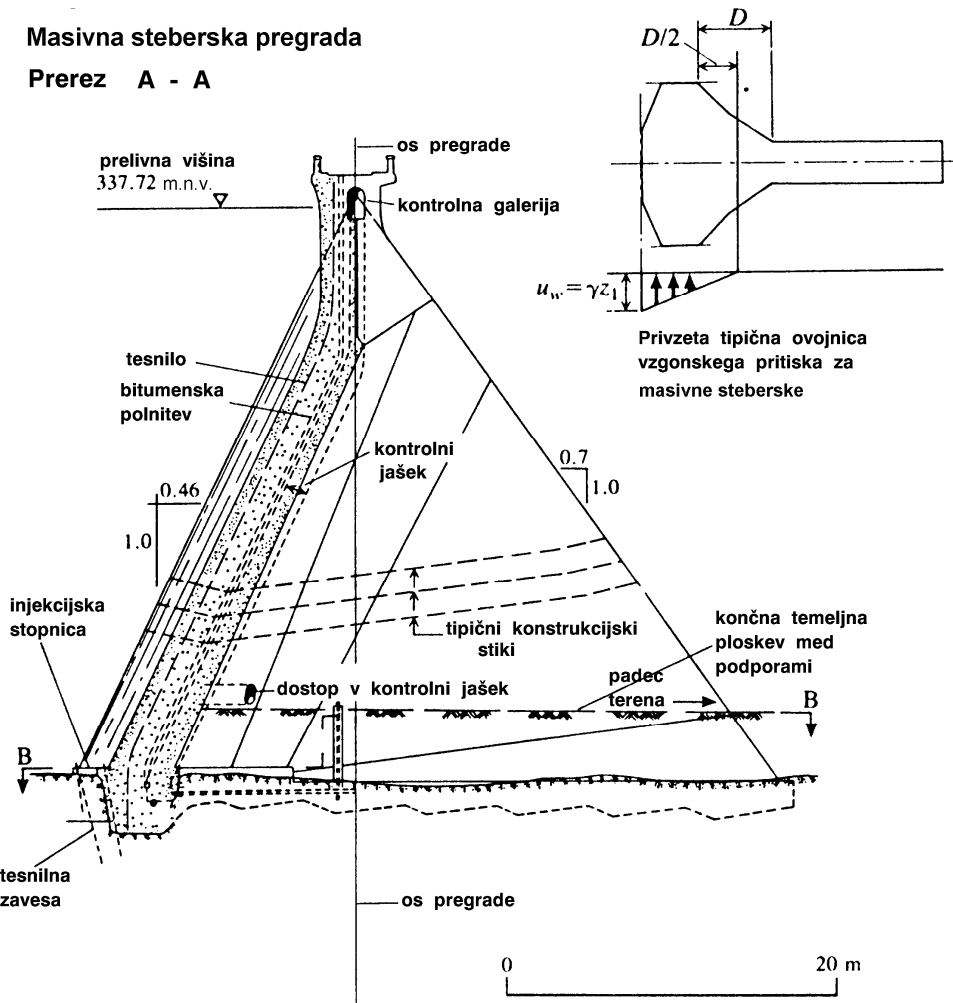


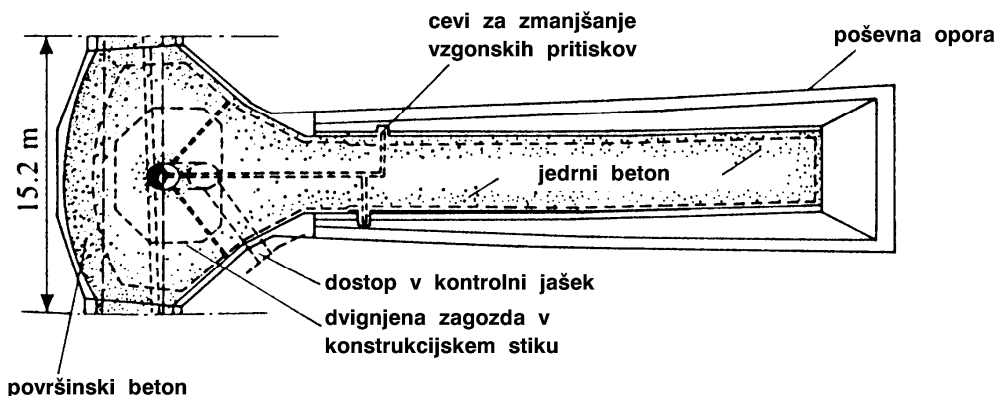


Slika 3-70: Primerjava vgrajenega volumna betona pri masivnih pregradah 4 tipov

- Primer: pregrada Shira - Škotska

**Masivna steberska pregrada**  
**Prerez A - A**

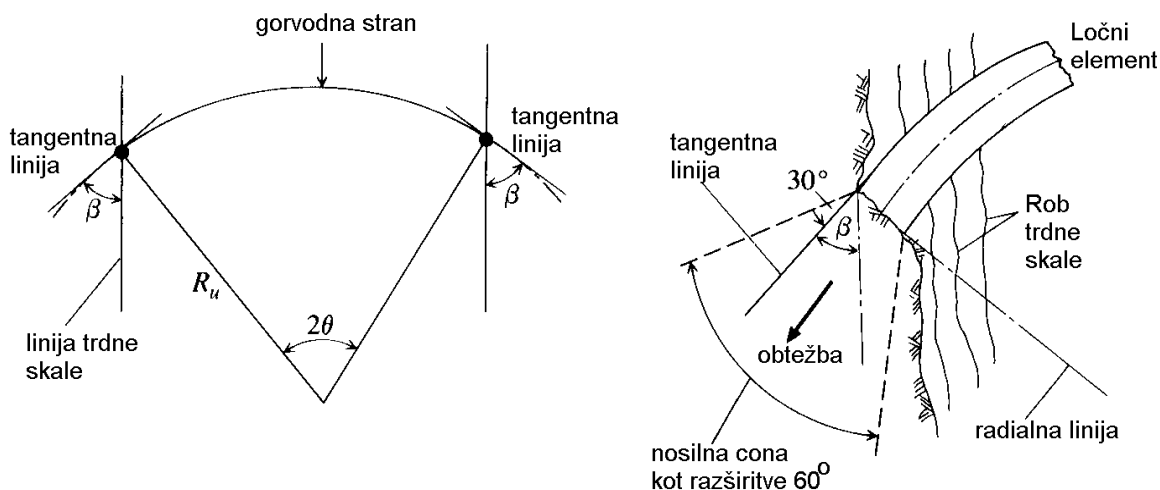


**Prerez B - B**

Slika 3-71: Vertikalni in horizontalni rez masivne steberske pregrade z drenažo za zmanjšanje vzgonskega pritisk

**3.4 Ločne pregrade**

Ločna pregrada je pregrada z zakrivljeno osjo, ki prenaša obtežbo horizontalno na oba bregova z ločnim učinkom in manj na dno doline. Zato je, bolj kot pri drugih vrstah pregrad, gradnja ločne pregrade odvisna od topografije ter nosilnosti temeljnih tal. Prenosa obtežbe preko kril pregrade na brežine kot kaže slika:



Slika 3-72: Prenos obtežbe pregrade na brežine



Slika 3-74. Pregrada Martinje na reki Pivi



Slika 3-75: Ločna pregrada

Slika 3-75: Lep primer ločne pregrade<sup>16</sup>

Del obtežbe, ki se prenaša na ta način je v največji meri odvisen od radija (zakrivljenosti) pregrade. Poseben pomen (dodatni vplivi!) dobi zaradi razmeroma tankostenske gradnje tudi klima. Rahlo zakrivljene masivne težnostne pregrade se obravnavajo kot težnostne pregrade, čeprav se lahko del obtežbe prenaša tudi na bregove.

### Uporabnost ločnih pregrad

Običajna ekonomska meja za gradnjo ločnih pregrad, ob normalnih topografskih pogojih, leži glede na dosedanje raziskave okvirno pri razmerju  $H : L = 6 : 1$  (kjer sta  $L$  dolžina krone pregrade in  $H$  višina pregrade). Obstajajo tudi zgradbe z razmerjem  $10 : 1$ . Okoli 15% vseh visokih pregrad so ločne pregrade različnih vrst.

### Vrste pregrad:

Ločne pregrade običajno razdelimo glede na debelino, simetrijo, glede na kronski del ali karakteristike zakrivljenosti lokov, glede na višino pregrade in njihov položaj glede na brežine. Tako jih lahko razdelimo na: *konstantno debele, spremenljivo debele, simetrične, asimetrične, enoločne, večločne, konstantnega premera, enojno zakrivljene, dvojno zakrivljene, s spremenljivim radijem* ali na kak drug način glede na našete njihove karakteristike.

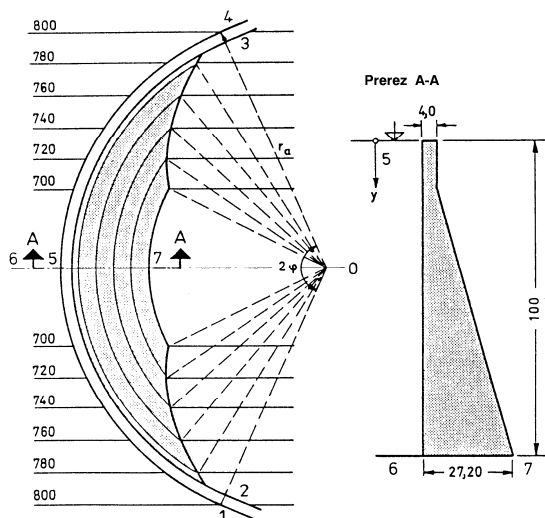
Osnovna konstruktivna razdelitev pa je na:

- **Cilindrične ločne pregrade** (pregrade s konstantnim radijem)  
Te pregrade imajo običajno vertikalno gorvodno stran. Dolvodna zakrivljenost je lahko koncentrična ali akoncentrična glede na gorvodno zakrivljenost. Običajno se radij v spodnjem delu pregrade zmanjšuje, da se lahko prenaša povečani vodni pritisk na tej globini. Cilindrične ločne pregrade niso optimalne glede volumna vgrajenega betona, vendar je račun napetosti enostavnejši. V primeru simetrične doline nastopi teoretično najmanjši volumen pregrade pri kotu  $2\theta = 133^\circ$  po vsej višini pregrade. Ta kot je omejen glede na kot prenosa obtežbe na bregove in tako je centralni kot običajno omejen na  $2\theta \leq 110^\circ$ . Take ločne pregrade so posebej primerne za soteske oblike črke U, kjer se lahko dobršen del obtežbe na spodnji del pregrade prenaša v dno doline.
- **enakokotne ločne pregrade** (pregrade s spremenljivim premerom)  
Pri teh pregradah se običajno premer z večanjem oddaljenosti od krone pregrade zmanjšuje. To omogoča, da je kot prenašanja obtežbe na bregove po vsej višini pregrade enak in omogoča optimalno učinkovitost ločnega efekta po vsej višini pregrade. Pogosto so enakokotne ločne pregrade tudi dvojno zakrivljene (v vertikalni in horizontalni ravnini).

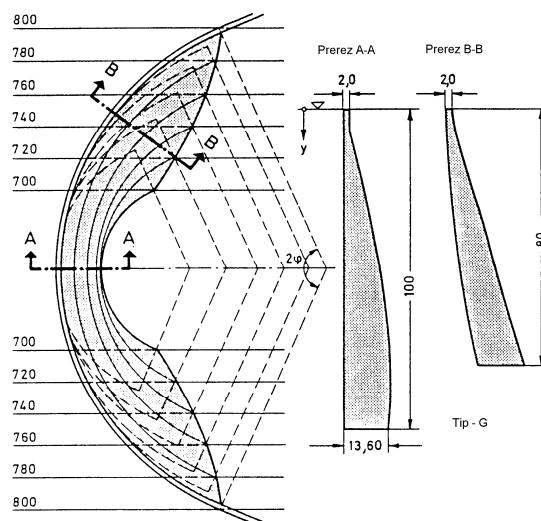
<sup>16</sup> Vir: <http://slocold.ibe.si>

**Primeri oblik cilindričnih pregrad:**

- cilindrična ločna pregrada (primerna za U doline)
- enakokotna ločna pregrada (primerna za V doline)

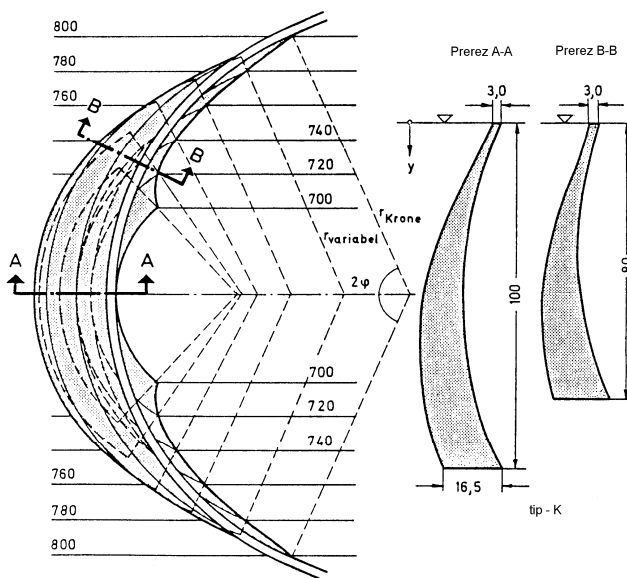


Slika 3-73: Cilindrična ločna pregrada



Slika 3-74: Enakokotna ločna pregrada

- kupolasta ali dvojno zakrivljena ločna pregrada



Slika 3-75: Kupolasta ločna pregrada

### 3.4.1 Splošna teorija ločnih pregrad

Konstruktivsko lahko nosilni sistem ločnih pregrad razdelimo glede na:

- **nosilnost samo z ločnim učinkom**
- **nosilnost z ločnim in podpornim učinkom.**

Mnogo ločnih pregrad je bilo načrtovanih po načelu, da se vsa horizontalna obtežba prenaša z ločnim učinkom na bregove in da se samo lastna teža ter teža vode v primeru nagnjene gorvodne strani prenaša vertikalno v temelje pregrade s podpornim učinkom. Za preliminarno analizo se najpogosteje uporabljata teoriji debelostenskih in tankostenskih lokov.

#### Debelostenska napetostna analiza

Predpostavimo, da so diskretni horizontalni ločni elementi, ki tvorijo del celotnega loka, izpostavljeni enakemu vodnemu pritisku  $p_w$ . Tlačno horizontalno napetost na polmeru  $R$  dobimo po enačbi:

$$\sigma_h = \frac{p_w \left( R_g^2 + \left( R_g^2 R_d^2 \right) / R^2 \right)}{R_g^2 - R_d^2} \quad [\text{MNm}^{-2}]$$

Kjer sta  $R_g$  in  $R_d$  gorvodni in dolvodni radij pregrade za obravnavani ločni element. Napetosti v ločnem elementu so največje na dolvodni strani ob podporah.

#### Tankostenska napetostna analiza

Če je srednji premer pregrade  $R_m$  zelo velik v primerjavi z debelino pregrade  $T_r$ , lahko predpostavimo, da je  $R_m = R_g = R_d$  in so kot posledica tega napetosti v ločnem elementu  $\sigma_h$  enake preko celotne debeline elementa.

Enačba za debelostensko napetostno analizo se v takem primeru poenostavi na klasično kotelno formulo:

$$\sigma_h = \frac{R_u \cdot p_w}{T_r}$$

Kjer je  $T_r$  debelina loka,  $R_u$  gorvodni radij pregrade,  $p_w$  vodni pritisk in  $\sigma_h$  napetost v betonu. V zgornjem delu pregrade se obe enačbi ujemata z dejanskim stanjem z razliko manjšo od 2%, če je  $R_u / T_r \geq 25$ . Po tej enačbi bi dobili debelino loka na kroni pregrade  $t = 0$ , iz konstruktivnih razlogov pa mora imeti krona pregrade določeno najmanjšo debelino  $t = 2.0$  m.

Da lahko pregrado obravnavamo kot ločno pregrado in ne kot težnostno mora zadostiti pogoju, da je debelina pregrade ob temelju pregrade ( $t_t$ ) manjša od  $0.4H$ , kjer  $H$  predstavlja višino pregrade. Ob zagotovljenem pogoju ekonomičnosti je tudi ta pogoj hitro zadovoljen.

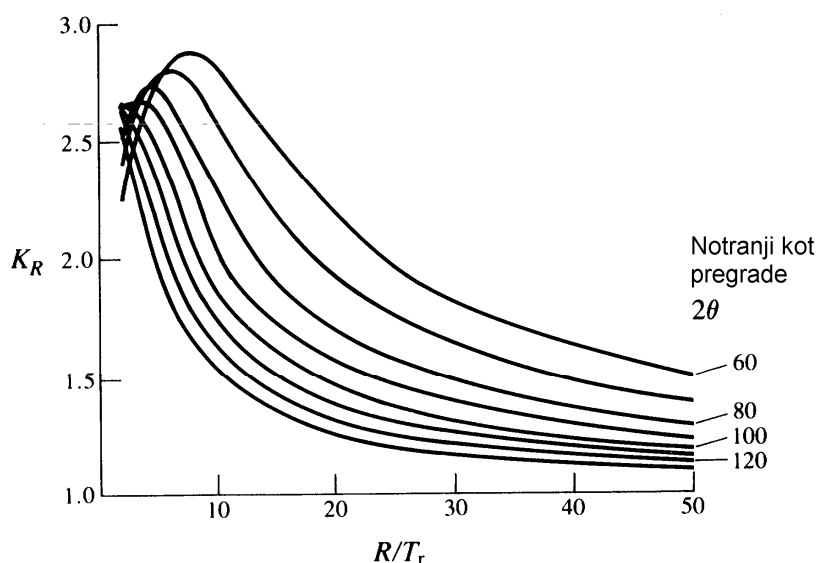
Načrtovanje, ki popolnoma izključuje podporni učinek pregrade in poenostavljeno obravnava ločne elemente, le redko zadovoljuje predvsem zaradi:

- predpostavke, da delujejo posamezni ločni elementi neodvisno drug od drugega, ki je očitno napačna,
- predpostavljenih enakomernih radialnih deformacij, ki so vprašljive zaradi elastičnih deformacij podpor, (tj. brežin). Vsled tega se razpon ločnega elementa poveča in s tem zmanjša  $\sigma_h$  v temenu loka in poveča  $\sigma_h$  ob podporah.

Če predpostavimo, da se ne pojavijo neelastični posedki podpor, lahko napako v računu pod točko 1 in 2 popravimo s korekcijskim faktorjem za napetosti ob podporah ločnih elementov, vključenim v klasično kotelno formulo:

$$\sigma_h = K_R \frac{R_u \cdot p_w}{T_r}$$

pri čemer je faktor  $K_R$  funkcija kota  $2\theta$  in razmerja  $R_u/T$ , kot kaže graf:



Slika 3-76: Diagram spreminjanja  $K_R$  glede na geometrijo pregrade

- V temeljnem delu pregrade se pojavlja vertikalni podporni učinek. Za ustrezen prenos obtežbe bi se morali podporni elementi kriviti v istem smislu kot ločni elementi v spodnjem delu pregrade. To pa ni možno, kar očitno daje vedeti, da je neupoštevanje podpornih učinkov primerno le za približno oceno dimenzij pregrade.

### Nosilnost z ločnim in podpornim učinkom

Je upoštevana v vseh sodobnih računih, ki jih običajno izvajamo z uporabo metode končnih elementov, pri čemer enakovredno upoštevamo robne pogoje v bregovih doline in v temeljnih tleh pregrade. Tako pri tem načinu računa kot pri starejših načinih izračuna sta posplošeno rečeno učinek ločnega efekta in vertikalne podpore povezana z enakimi pomiki v vseh točkah pregrade.

### 3.4.2 Obtežba na ločne pregrade

Je načeloma enaka kot pri težnostnih ali steberskih pregradah z določenimi posebnostmi:

- Napetosti zaradi spremembe temperature se pri zakrivljenih pregradah lahko odražajo z izrazitejšimi izbočitvami oz. spremenjenimi napetostmi.
- Vzgonski pritiski so manjšega velikostnega razreda, ali pa jih lahko celo zanemarimo, če ni pojava razpok. V primeru razpok se pojavijo povišane napetosti na dolvodni strani, ki so nevarnejše v primeru horizontalnih razpok (podporni učinek) kot v primeru vertikalnih razpok (ločni učinek).
- Pojav ledu vpliva neposredno na ločni element v njegovi višini. Za ustrešno razporeditev te obtežbe dodamo vertikalne ojačitve na gorvodni ali dolvodni strani.
- Temperaturne razmere vplivajo na to, da se pregrada poleti premakne gorvodno in pozimi dolvodno zaradi česar so zimske razmere neugodnejše za analizo napetosti. Ker se napetosti zaradi temperaturnih razlik pojavljajo šele po zaprtju posameznega loka je potrebno lok zapreti šele po tem, ko se hidratacijska toplota že v pretežni meri odda. Da se to pospeši se večina sodobnih ločnih pregrad umetno hladi s sistemom hladilnih cevi. To običajno omogoča, da se izvede tesnenje konstrukcijskih stikov v ustreznih rokih. Če je pri zapiranju lokov upoštevano to načelo je vendarle potrebno upoštevati nihanje temperature od srednje letne vrednosti do najnižje možne temperature, ki se lahko pojavi na dani lokaciji. Pri upoštevanju tega temperaturnega vpliva je potrebno upoštevati tudi debelino pregrade, saj se tanjše pregrade ohladijo bolj kot debelejšje.

### 3.4.3 Porazdelitev napetosti v ločnih pregradah

Porazdelitev napetosti pri ločnih pregradah je odvisna od horizontalne zakrivljenosti, oblike vertikalnega prereza, dimenzij konstrukcije ter enotnosti profila doline. Pri razporeditvi napetosti v ločnih pregradah so posebej kritična mesta možnih grbin - nepravilnosti na temeljnih tleh - brežinah, kjer se lahko pojavijo konice napetosti in posledično možne diagonalne razpoke.

#### Napetosti v vertikalnih podporah

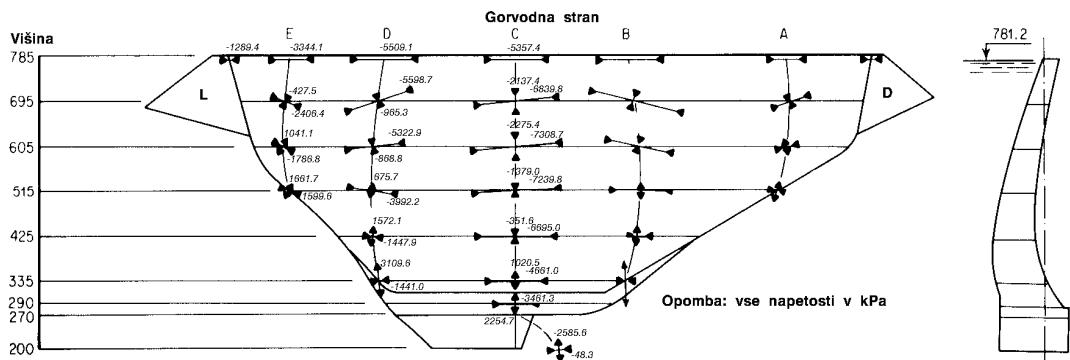
Največje napetosti v vertikalnih podporah ločnih pregrad se v primeru doline brez nepravilnosti pojavijo pri temelju najvišje podpore. Običajno so najvišje na zračni strani, pri čemer lahko tudi na vodni strani dosegajo precej visoke vrednosti. Natezne napetosti se pogosto pojavljajo na gorvodni strani temelja pri relativno tankih pregradah ter na zračni strani na zgornjem srednjem delu pregrade.

#### Napetosti v ločnih segmentih

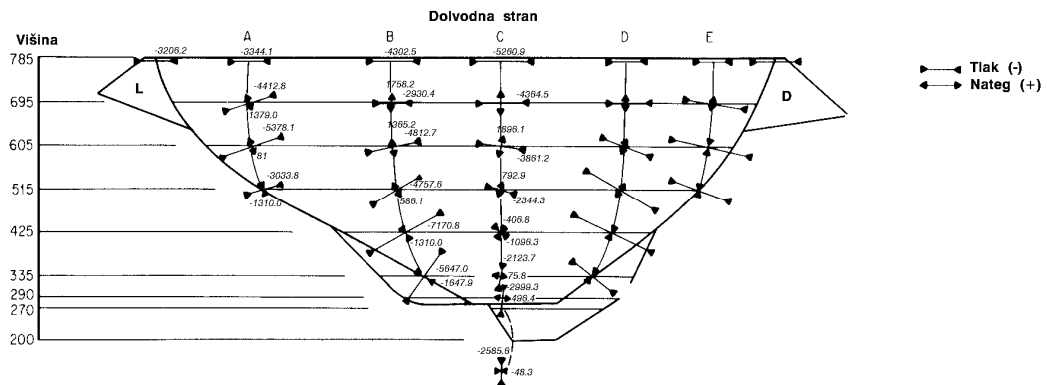
Napetosti v ločnih elementih v zgornjem delu pregrade so znatno višje kot v spodnjem delu. Največje napetosti nastopajo običajno v višini krone pregrade (obtežba z ledom, valovi). Pri ločnih elementih v kronske delu pregrade običajno nastopajo relativno visoke napetosti na vodni strani pregrade ter relativno majhne tlačne napetosti ali majhne natezne napetosti na zračni strani. V krilih pregrade je napetostna slika običajno ravno obratna zaradi spremembe predznaka momentov, ki se navadno zgodi nekako na četrtini pregrade. Strižne napetosti v kronske delu pregrade so blizu ničle pri simetrično obremenjenih simetričnih ločnih pregradah.

#### Glavne napetosti

Glavne napetosti so pri ločnih pregradah razporejene normalno glede na podporno brežino oz. dno doline. To pomeni, da so skoraj vodoravne v višini krone pregrade ter vertikalne pri dnu pregrade ter zvezno prehajajo med tema dvema skrajnjima točkama.



Slika 3-77: Porazdelitev glavnih napetosti na vodni strani ločne pregrade



Slika 3-78: Porazdelitev glavnih napetosti na zračni strani ločne pregrade

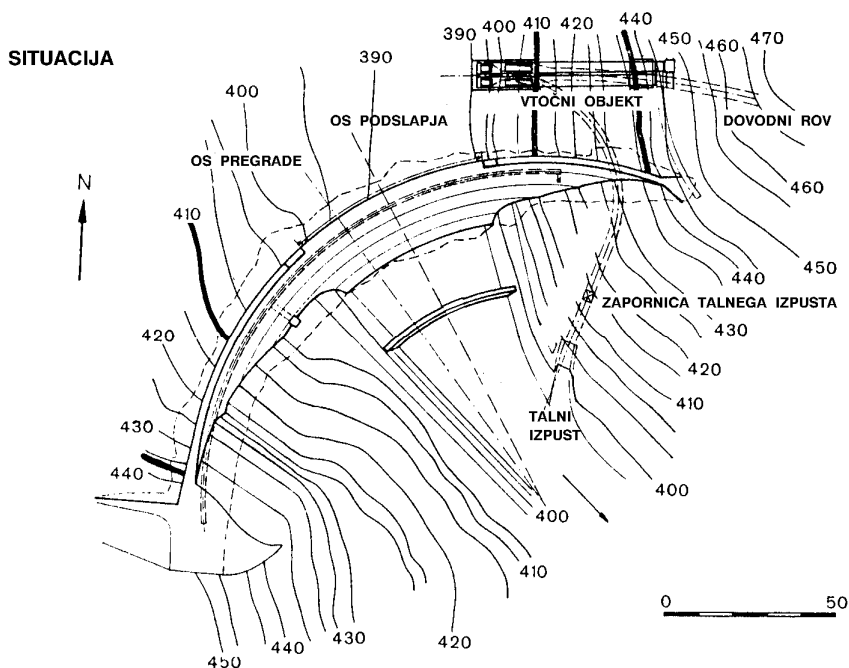


### 3.4.4 Načrtovanje ločnih pregrad

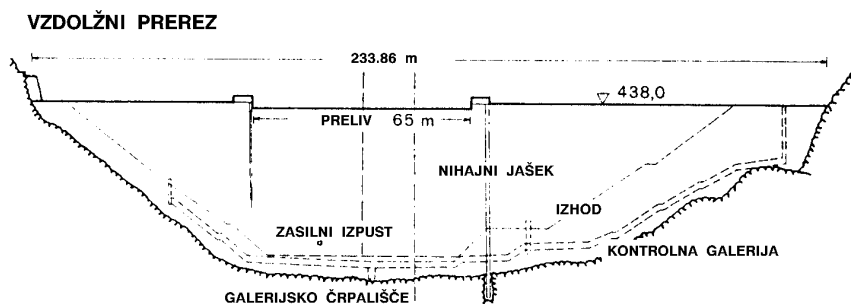
Načrtovanje ločnih pregrad izvajamo z izbiro osnovnih dimenzij in oblike pregrade, ki jo zatem postopoma optimiziramo glede na napetosti v njej ter glede na stroške pregrade. Najboljša oblika bo imela napetosti porazdeljene čim bolj enakomerno, natezne napetosti čim manjše, največje tlačne in strižne napetosti znotraj dopustnih meja in hkrati čim nižjo ceno celotne konstrukcije.

#### Primeri ločnih pregrad:

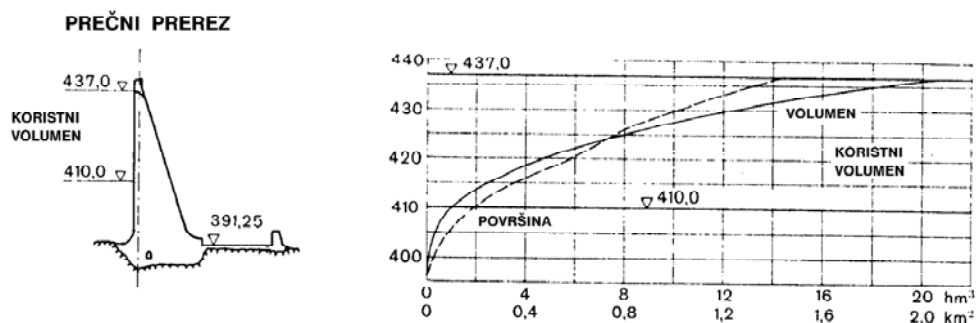
- pregrada Dobra / Avstrija (cilindrična)



Slika 3-79: Spremljajoči objekti pregrade (talni izpust itd.)

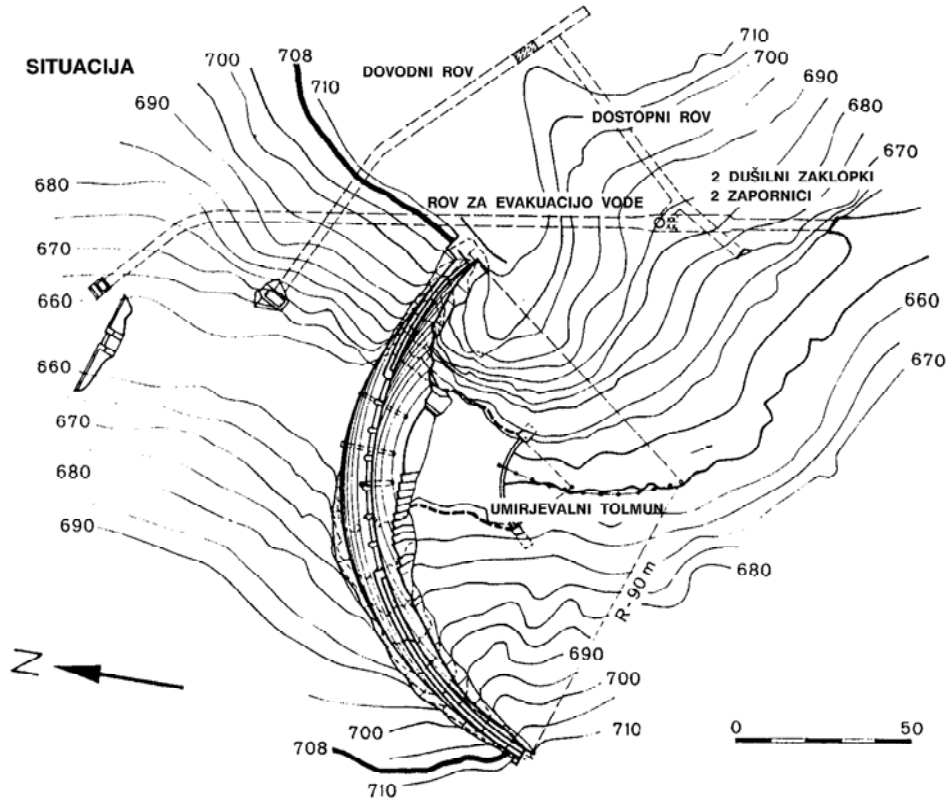


Slika 3-80: Prikaz ureditev na pregradi



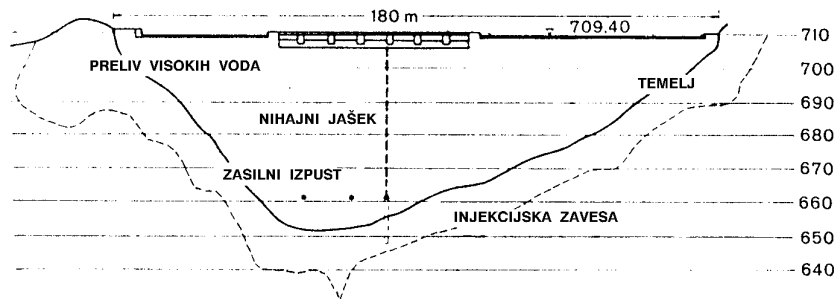
Slika 3-81: Nihanje nivoja v akumulaciji daje koristni volumen

- pregrada Hierzmann / Avstrija (enakokotna)



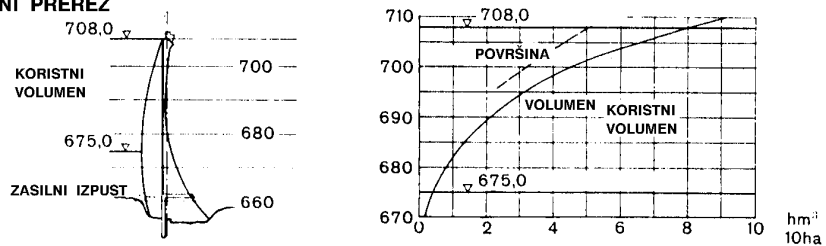
Slika 3-82: Spremljajoči objekti pregrade

VZDOLŽNI PREREZ



Slika 3-83: Prikaz ureditev na pregradi in obseg injekcijske zavese

PREČNI PREREZ

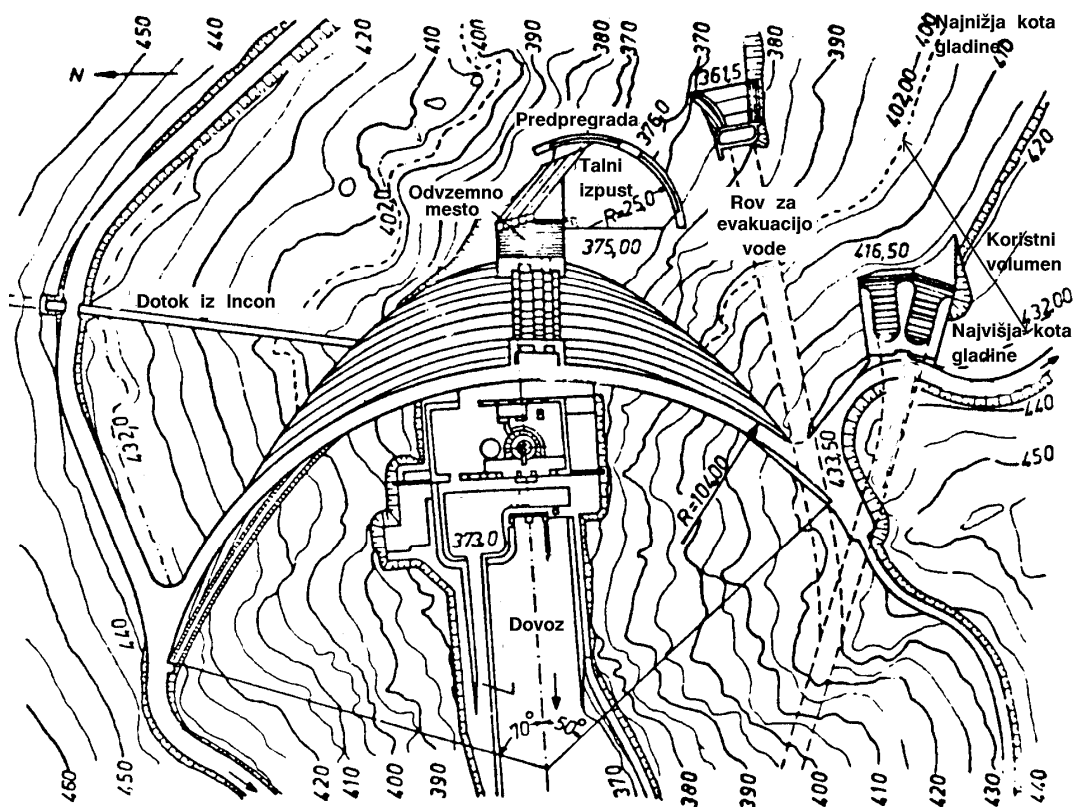


Slika 3-84: Nihanje vode v akumulaciji omogoča koristen volumen

- pregrada Enchanet / Francija (dvojno zakrivljena)

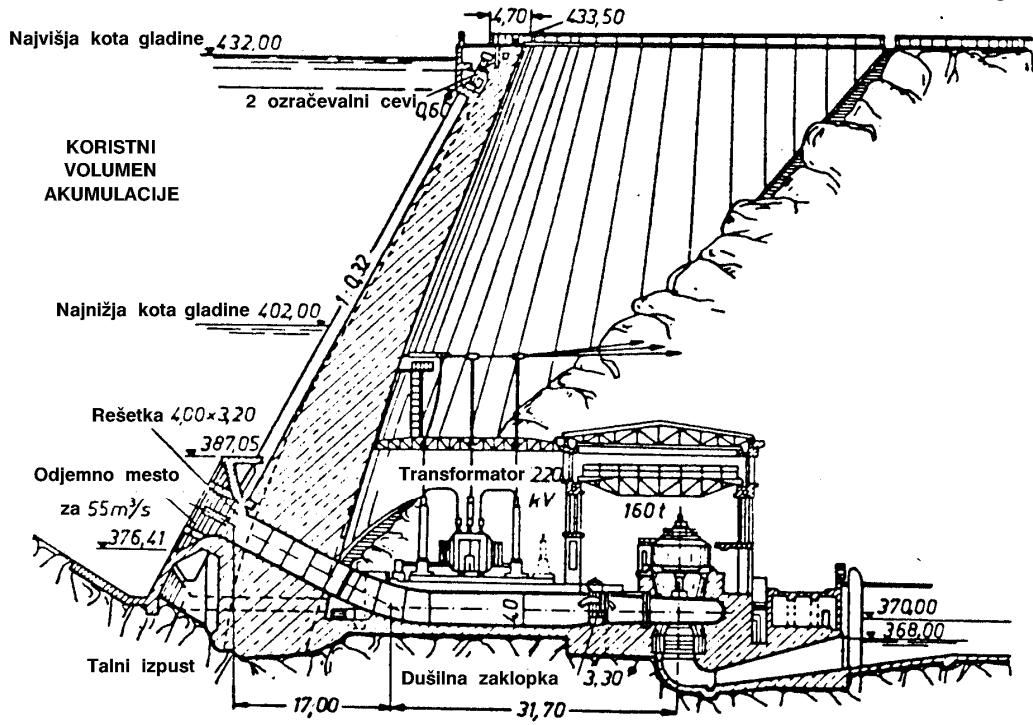


Slika 3-87: Pregrada Enchanet<sup>17</sup>

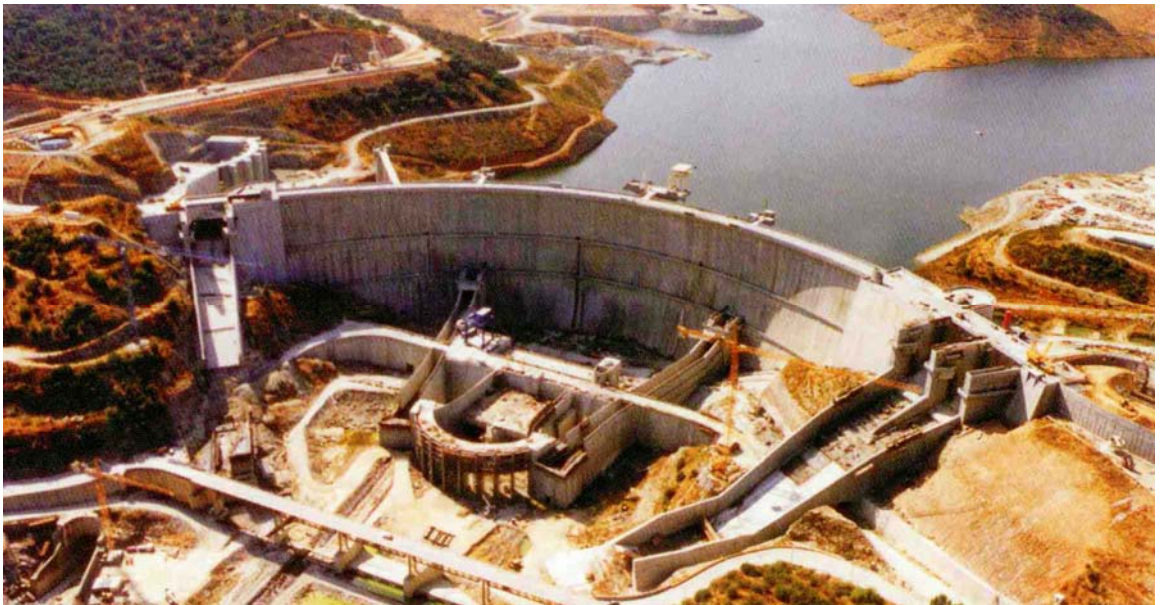


Slika 3-85: Spremljajoči objekti pregrade

<sup>17</sup> Vir: <http://scienceservice.si.edu>



Slika 3-86: Prečni prerez—uporabnik vode (HE) je v neposredni bližini pregrad



Slika 3-5: Gradnja ločne pregrade<sup>18</sup>

<sup>18</sup> Vir: HRW, september 2006, str. 23

## 4. KONSTRUKCIJSKE REŠITVE PRI GRADNJI PREGRAD

### 4.1 Uvod

Vse analize pri načrtovanju pregrade temeljijo na večjem ali manjšem številu predpostavk glede na režim obtežbe, reagiranje materiala, mehanizme prenašanja obtežbe itd. Uporaba do sedaj omenjenih analitičnih metod predstavlja le začetno fazo načrtovalnega procesa. V naslednji stopnji načrtovanja in presoje moramo zagotoviti, da z dobrim načrtovanjem detajlov čimbolj izpolnimo zahteve predpostavk, ki smo jih upoštevali pri analizi konstrukcije in jih uskladimo z zahtevami po hitri in ekonomični gradnji.

Nekatere konstrukcijske rešitve odražajo inženirske rešitve problematike obtežbe (npr. drenaža za zmanjšanje vzgonskih pritiskov), druge so pogojene glede na lastnosti vgrajevanega materiala (betona) ali zahteve po racionalizaciji in poenostavitvah s strani investitorja, ali pa z zahtevami, ki odražajo pogoje za sprejemljivost posega v okolje. V mnogih primerih so konstrukcijske rešitve zasnovane glede na izkušnje z obnašanjem sistemov v že vgrajenih pregradah.

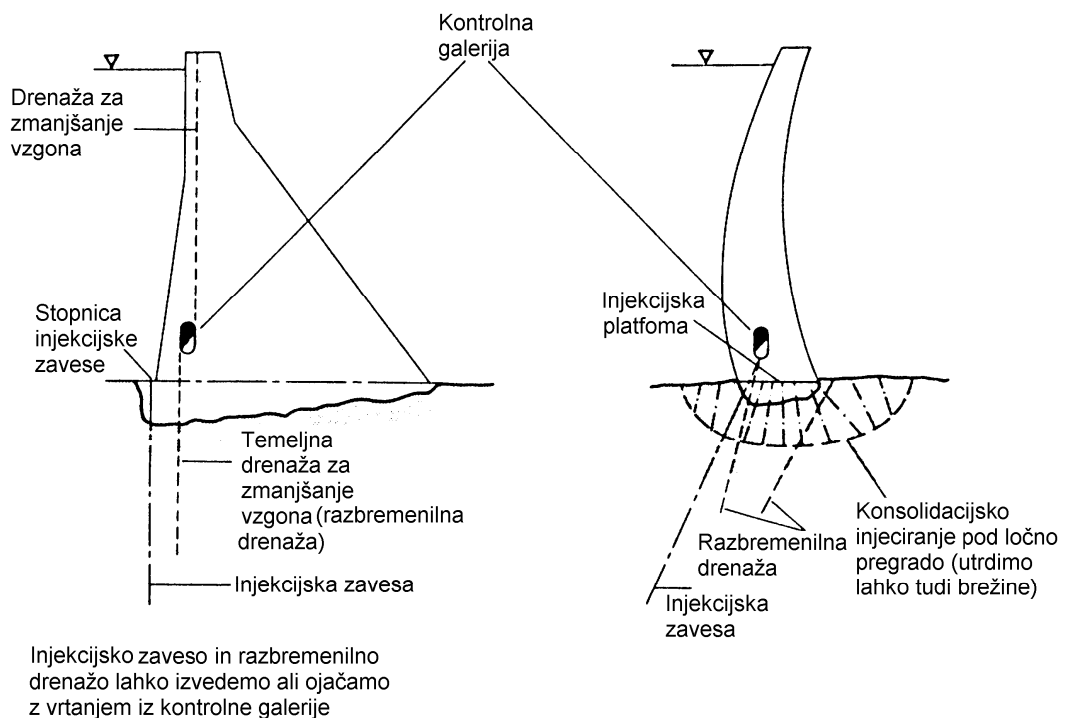
Konstrukcijske rešitve lahko delimo na:

- konstrukcijske rešitve za kontrolo zunanega in notranjega pronicanja,
- konstrukcijske rešitve za kontrolo relativnih in absolutnih pomikov pregrade,
- konstrukcijske rešitve za kontinuiteto konstrukcije oziroma za (kontinuirani) prenos obtežbe,
- konstrukcijske rešitve za (olajšano) izvedbo gradnje.

Najpomembnejše konstrukcijske rešitve so:

### 4.2 Ojačitveno in tesnilno injektiranje

Tesnjenje pod modernimi pregradami je izvedeno skoraj izključno s tesnilnim injektiranjem (zavesami). Relativno plitvi temeljni izkop (ekonomika) prispeva le malo k zmanjšanju pronicanja. Injektiranje (običajno) cementne malte lahko pri tem opravlja dve funkciji kot kaže slika:



Slika 4-1: Primeri uporabe injektiranja pri gradnji betonskih pregrad

- **Tesnilno injektiranje:**

Namen tesnilnega injektiranja je ustvarjanje lokalne tesnitve za omejitev pronicanja ter, teoretično gledano, sprememba tlakov pod pregrado. Injekcijsko zaveso izvedemo s serijo vrtin iz ozke stopnice ali platforme, ki sega gorvodno od temelja pregrade. V vrtine pod pritiskom vtiskamo injekcijsko malto, običajno izdelano na osnovi cementa vzdolž linije osi pregrade (lahko v eni ali več vrstah). Globina zavesa je pogosto enakega velikostnega razreda kot višina pregrade in sega po potrebi tudi v brežine. Dopolnilno injektiranje lahko po potrebi opravimo skozi vmesne ali dodatne vrtine.

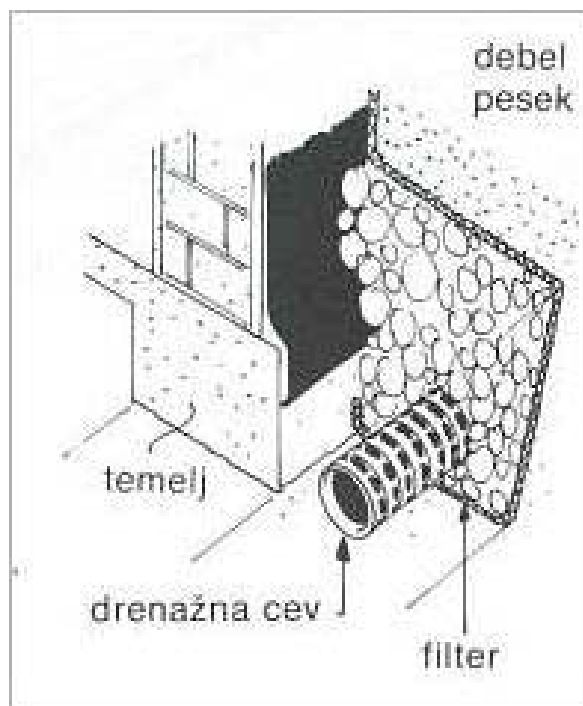
- **Konsolidacijsko (utrditveno) injektiranje:**

Osnovni cilj konsolidacijskega injektiranja je utrditev skale v kontaktnem območju, t.j. neposredno pod pregrado. Taka rešitev tudi delno zmanjšuje pronicanje pod pregrado, saj je lahko skala v tem delu bolj razpokana ali razpadla kot v globljih slojih. Pri injektiranju je potrebna pozornost, da zaradi prevelikih injekcijskih pritiskov ne povzročimo dodatnih razpok v skali.

### 4.3 Drenaže za zmanjšanje vzgona

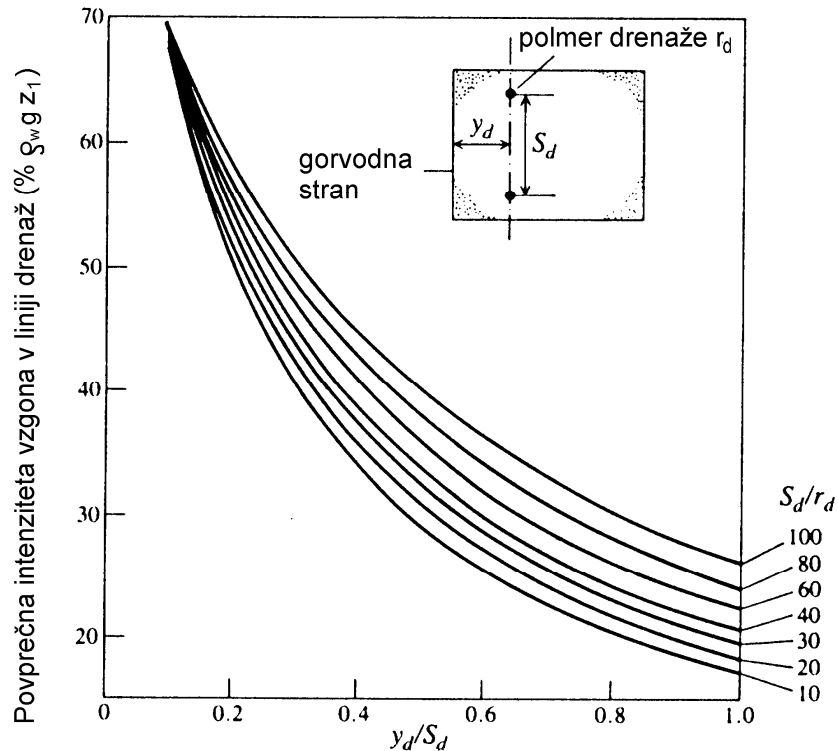
Drenažne odprtine neposredno za tesnilno injekcijsko zaveso zmanjšajo dolvodne vzgonske pritiske na temelj pregrade. Drenažne odprtine so običajno premera 70-100 mm v 3 -5 metrskih razmakih. Vrtamo jih iz kontrolne galerije.

Vzgon znotraj pregrade kontroliramo z drenažnimi cevmi po vsej višini pregrade, ki so vgrajene v bližini gorvodne strani. Pomembno je, da načrtujemo drenažo tako, da jo lahko očistimo ali ponovno izvrtamo v primeru zamašitve. Drenažne cevi odvajajo vodo neposredno na dolvodno stran pregrade ali v zbirni odvod v kontrolni galeriji.



Slika 4-1: Drenažna cev

Učinkovitost drenaže je odvisna od sistema porazdelitve (geometrije in položaja). Oceno učinkovitosti nam podaja diagram (Moffat 1984):



Slika 4-2: Procent zmanjšanja intenzitete vzgona glede na geometrijo in razporeditev drenažnih cevi

## 4.4 Ureditev telesa pregrade

### 4.4.1 Načrtovanje in izvedba gradnje pregrade

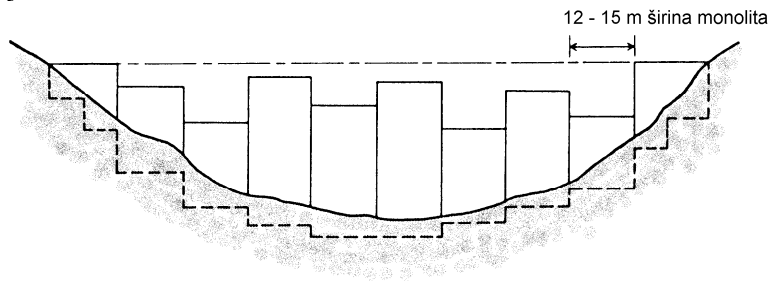
Učinkovita in ekonomična gradnja zahteva natančno načrtovanje za vsako osnovnih faz gradnje (priprava temeljev, betoniranje, itd.). Pri načrtovanju gradnje optimiziramo tudi glede na dostopnost in možnosti uporabe posameznih sredstev (virov).

Pri gradnji pregrade ločimo nekaj *karakterističnih faz*:

- priprava gradbišča, dovoznih poti, bivališč, ipd.,
- derivacija reke,
- ureditev temeljnega dela,
- gradnja posameznih monolitnih blokov,
- tesnenje pregrade,
- gradnja pomožnih objektov (zapornice, zajetja, itd.),
- opazovanje pregrade in pričetek običajnega obratovanja.

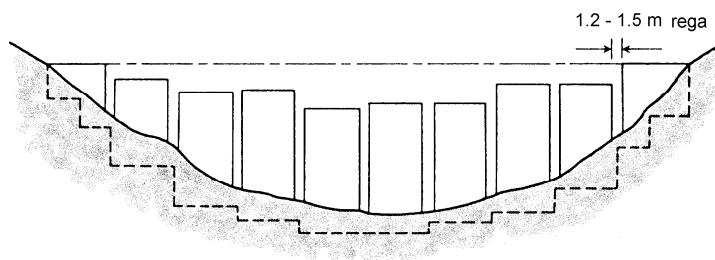


a) Izmenična monolitna konstrukcija: vmesno zalivanje izvedeno s faznim zamikom, da kompenzira krčenje – čas vezenja cca. 30-60 dni.

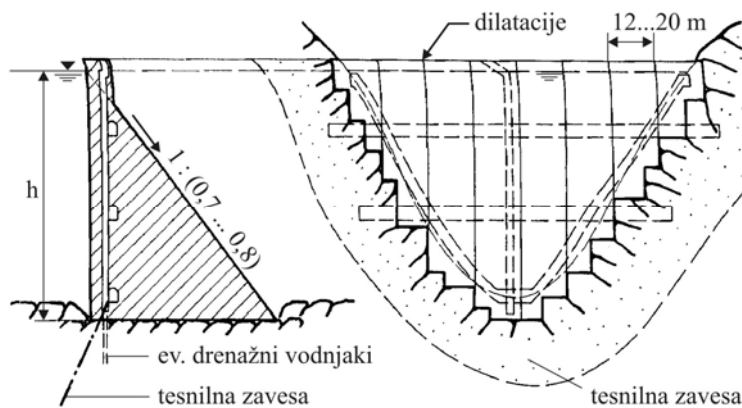


Slika 4-3: Betoniranje lamel po izmeničnem, stopničastem načinu

b) Konstrukcija s konstrukcijskimi regami za kompenzacijo krčenja. Rege zabetoniramo cca. 30-60 dni po izgradnji sosednjih monolitnih blokov.



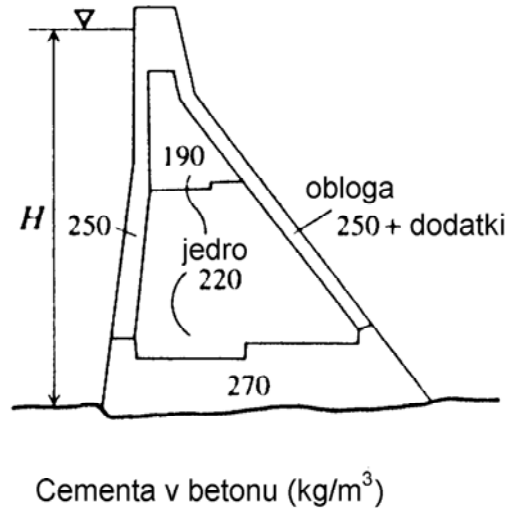
Slika 4-4: Betoniranje lamel z vmesnimi regami



Slika 4-5: Elementi pregrade

#### 4.4.2 Sloji v betonski pregradi

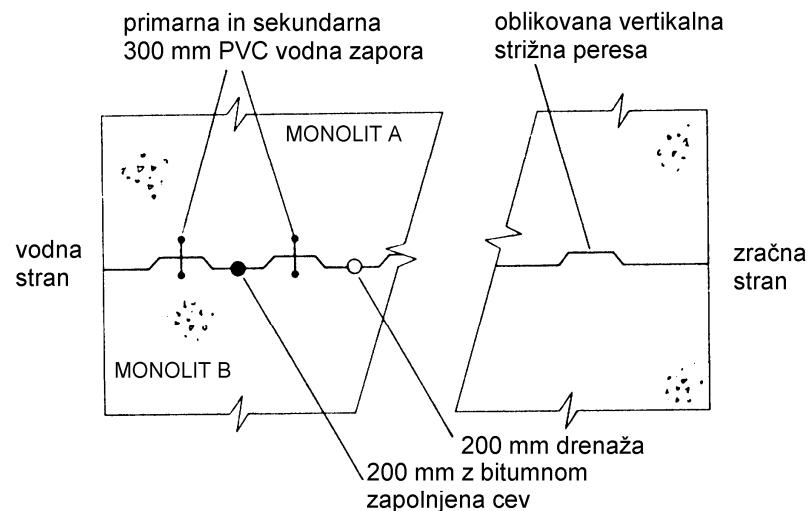
Glede na potrebno nosilnost in druge funkcije posameznega dela težnostnih pregrad uporabljamo za različne dele različno kvaliteten beton. Tako običajno uporabimo beton z najvišjo marko betona ter dodatki, ki povečajo odpornost betona proti zmrzali in obrusu na zračni strani pregrade. V jedru pregrade lahko uporabljamo beton z manjšo nosilnostjo. Slika prikazuje možno razporeditev plasti betona glede na položaj v pregradi:



Slika 4-6: Možni način porazdelitve betona različne kvalitete

#### 4.4.3 Medmonolitni, konstrukcijski stiki

Vertikalni konstrukcijski stiki so narejeni na rednih 12-15 m razmakih vzdolž osi pregrade. Stiki so potrebni zaradi krčenja in termičnih lastnosti betonske mase. Z njimi dosežemo manjše diference pomike med sosednjimi monolitnimi bloki, saj bi se brez njih pojavile večje prečne razpoke. Da preprečimo pronicanje skozi te (delovne) stike, izvedemo tesnenje. Eden od načinov je podan na sliki:



Če so stiki zapolnjeni z malto, kot pri ločnih pregradah, je potrebno na zračni strani izvesti še dodatno zaporno tesnilo

Slika 4-7: Možna izvedba vertikalnega in horizontalnega stikovanja

Tudi vsak posamezni monolitni blok mora biti betoniran postopoma. Da preprečimo krčenje in pokanje betona je posamezna faza betoniranja monolitnega bloka omejena na višino 1.5 - 2.0 m. Pri gradnji lahko oblikujemo strižna peresa. Predhodnemu sloju pred betoniranjem odstranimo vrhno plast zaradi boljšega stikovanja. Stično ploskev izvedemo v naklonu 4%, da povečamo odpornost stika proti zdrsu.

#### 4.4.4 Prenos obtežbe in kontinuiteta

Čeprav so težnostne pregrade načrtovane tako, da stabilitetne pogoje zadovoljujejo že samostojni bloki, je potrebno doseči določeno stopnjo medsebojnega sodelovanja posameznih blokov. To izvedemo z izvedbo strižnih peres. V primeru ločnih pregrad je potrebno doseči horizontalno kontinuiteto, da dosežemo ločni efekt. V primeru ločnih pregrad zato zapolnimo stike z naknadnim injeciranjem šele po tem, ko se konstrukcija ohladi pod najnižjo povprečno temperaturo. Injeciranje stikov se lahko izvaja tudi pri težnostnih pregradah.

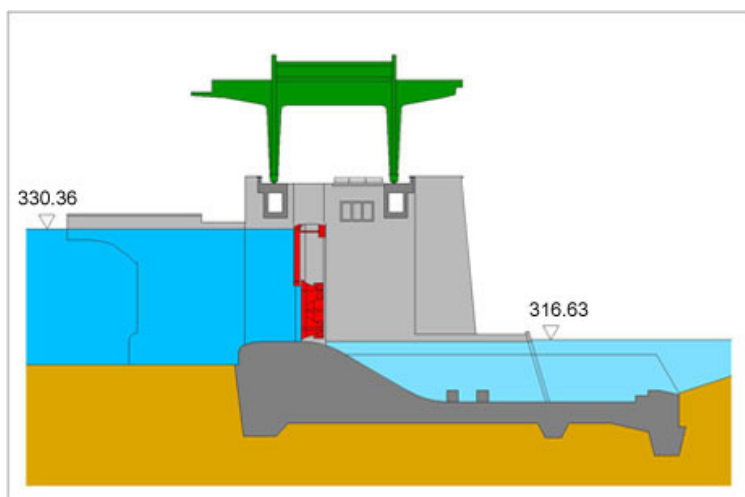
#### 4.4.5 Kontrolne galerije

Po spodnjem obodu telesa pregrade je vedno potrebno urediti kontrolno galerijo. Vanjo zbiramo drenirano vodo iz drenaž za zmanjšanje vzgonskega pritiska. Po njej je omogočen tudi dostop do inštrumentov za nadzor pregrade ter do notranjih prostorov z regulacijsko opremo. Galerije ne smejo biti dimenzij manjših od 2.0 x 1.2 m, s primerno ureditvijo dostopa, zračanja in osvetlitve. Večje pregrade imajo lahko tudi eno ali več galerij v višjih nivojih v telesu pregrade, ki so med seboj povezane z vertikalnimi jaški.

### 4.5 Objekti na pregradah

Objekte na pregradah delimo, glede na njihov namen, takole:

- začasni objekti v času gradnje (npr. za preusmeritev vodotoka),
- objekti za odvajanje vode iz akumulacije,
- objekti za zajem vode (za uporabnika),
- inštrumenti za opazovanje pregrade.



Slika 4-9: Objekt za odvajanje vode iz akumulacije



Slika 4-10: Zajezev



Slika 4-11: Zajezev

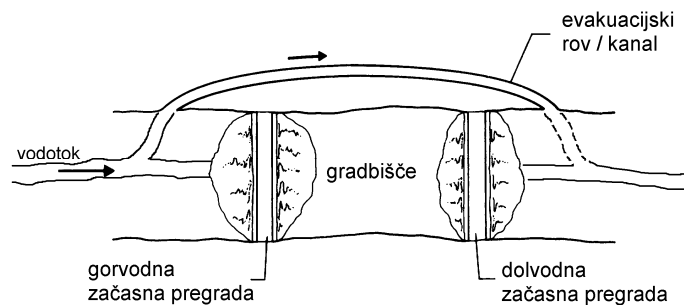
#### 4.5.1 Evakuacija vode v času gradnje

Način evakuacije vode v času gradnje je odvisen od številnih pogojev kot so: topografija, mikrolokacija, vrsta kamnine, srednji letni pretok vodotoka, pogostost visokih voda z določeno povratno dobo, vrste pregrade, čas potreben za gradnjo, idr.

Ločimo dva osnovna načina osuševanja gradbišča:

##### a) z gradnjo obtočnega rova (kanala)

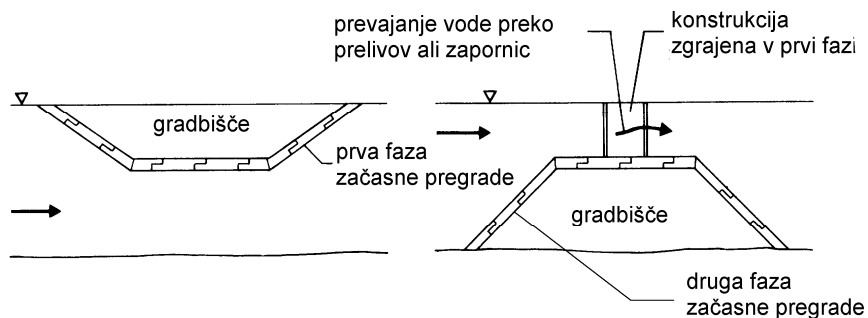
Postopek je uporaben pri manjših vodotokih, kjer lahko zadržimo visoke vode v začasni akumulaciji gorvodno od pregrade v gradnji. Postopek je običajno sledeč: (1) gradnja evakuacijskega rova ali kanala (2) gradnja začasne pregrade in preusmeritev vodotoka ter (3) po končani gradnji zaprtje evakuacijskega rova (kanala) ter (običajna) odstranitev začasnih pregrad



Slika 4-8: Shema osuševanja gradbišča z gradnjo obtočnega rova (kanala)

##### b) z delnim zapiranjem vodotoka

Pri tem načinu osuševanja gradbišča najprej zapremo z začasno pregrado del vodotoka in v osušenem delu zgradimo del pregrade s prelivnimi objekti. Nato odstranimo začasno pregrado in preusmerimo pretok skozi že izgrajen del. Nato zapremo preostali del vodotoka in v njem zgradimo še drugi del pregrade. Višina začasnih pregraditev se presoja posebej. Običajno se dopusti, da visoke vode od določene mere naprej lahko prelijejo zaščitno steno in poplavijo gradbišče, saj je popolna zaščita gradbišča ekonomsko neutemeljena.



Slika 4-9: Shema osuševanja gradbišča z delnim zapiranjem vodotoka

### c) kombinacija obeh rešitev

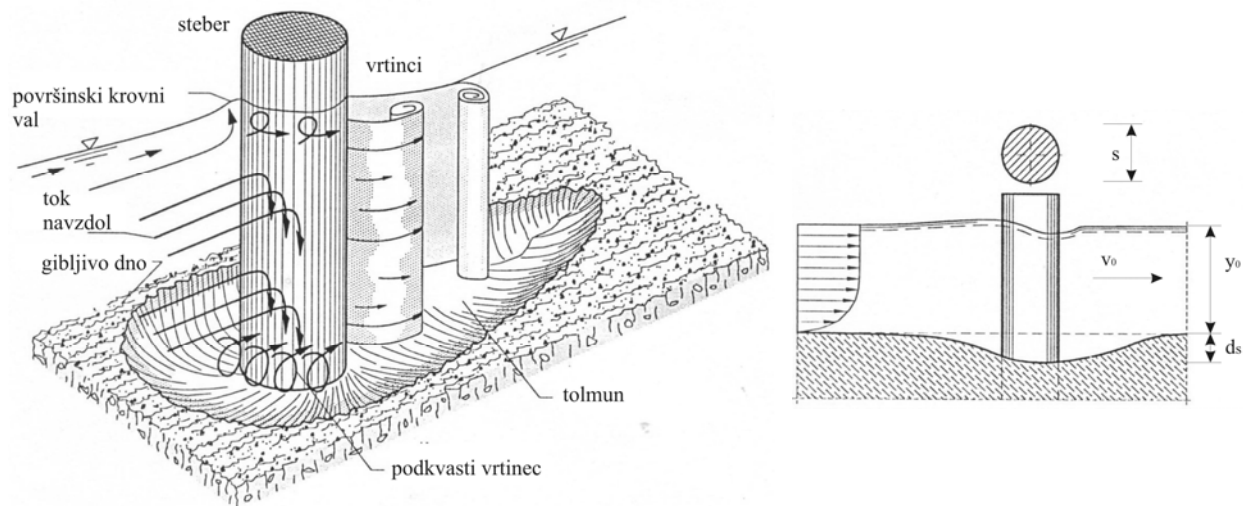
Praktična izvedba je vedno odvisna od niza razmer vezanih na lokacijo, ureditve objektov na pregradi, občutljivosti že zgrajenega dela na prelivanje z visokimi vodami ipd.

Dimezioniranje obtočnih ureditev ter začasne pregrade izvedemo glede na povratno dobo poplav, pred katerimi nameravamo ščititi gradbišče. Povratno dobo določimo glede na vrsto pregrade, ki jo gradimo, saj je pri betonskih pregradah še dovoljeno prelivanje konstrukcije v času gradnje, medtem, ko tega pri zemeljskih pregradah zaradi hitre erozije praktično ne smemo dopustiti.

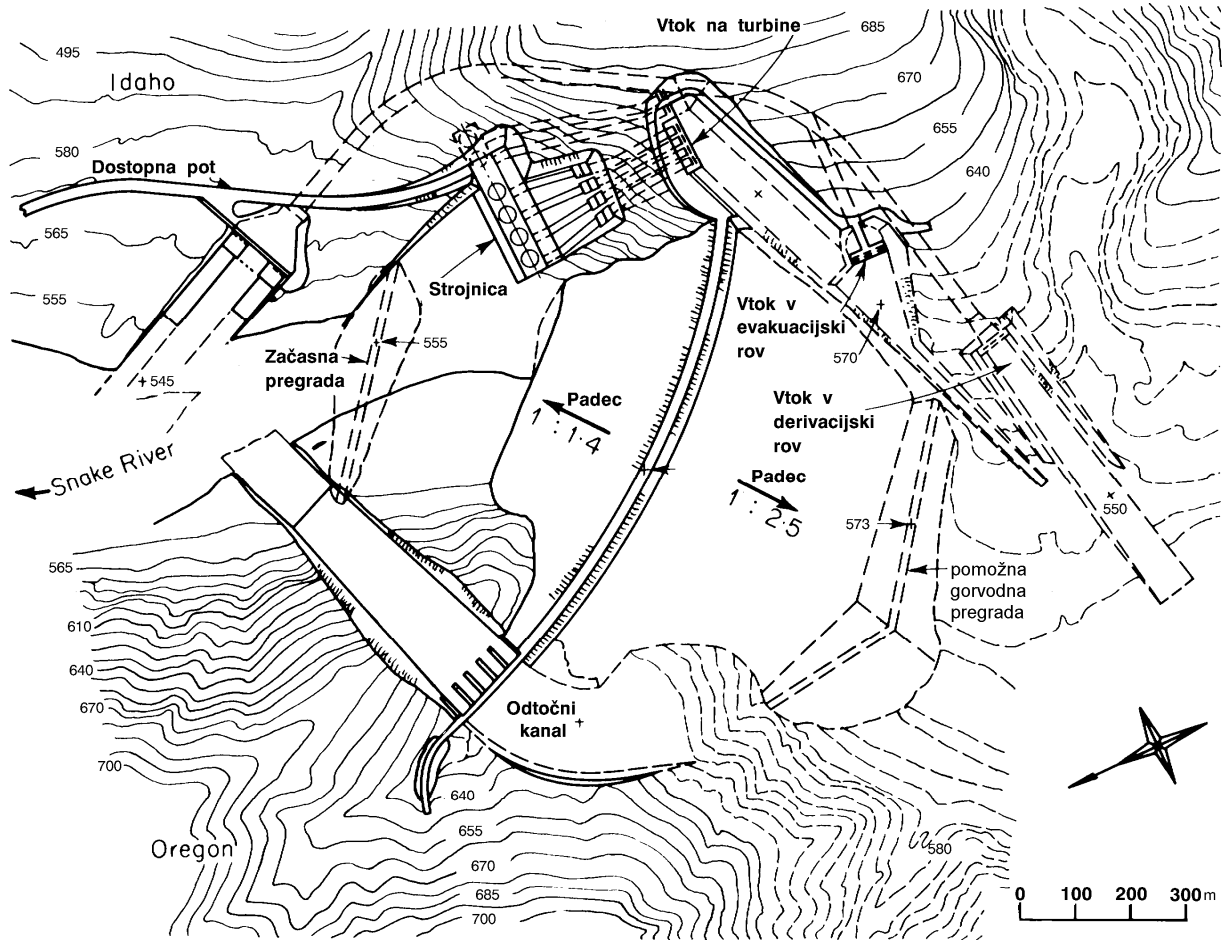
Pogosto uporabimo evakuacijski rov tudi kot stalni objekt na pregradi (slika 4-9). Ta lahko (opremljen z zapornimi elementi) kasneje služi kot objekt za izpraznitev akumulacije (t.j. talni izpust), ali kot dovodni oz. odvodni rov do uporabnika.

Gradnja obtočnih ureditev je močno odvisna od cele vrste pogojev, zato se je pri načrtovanju zelo težko opirati na trdna pravila. Vsekakor pa se moramo zavedati, da lahko gradnja evakuacijskih objektov predstavlja znaten delež celotne investicije. Zato zahteva podrobno presojo in dodatno oceno, kaj in kako je možno kasneje uporabiti kot del trajne ureditve.

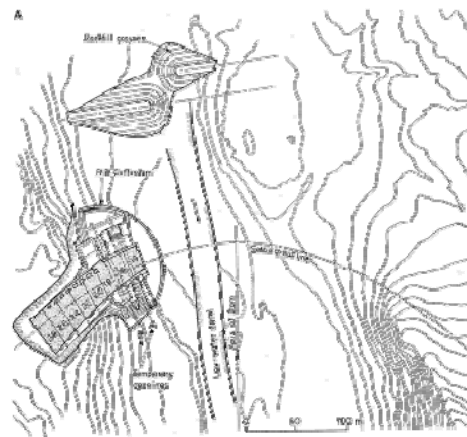
Potrebni so še drugi spremljevalni objekti. Pogosto so nujne dovozne poti in (dolvodna) premostitev vodotoka.



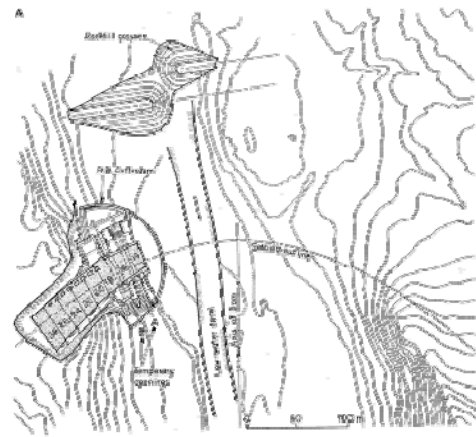
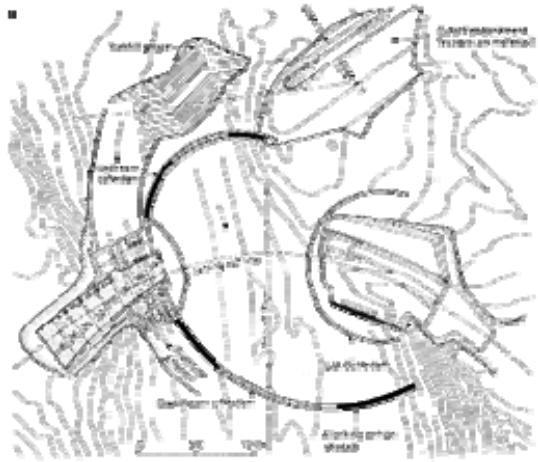
Slika 4-10: Pojav podkvastega vrtinca pri mostnih opornikih v vodotoku z gibljivim dnom



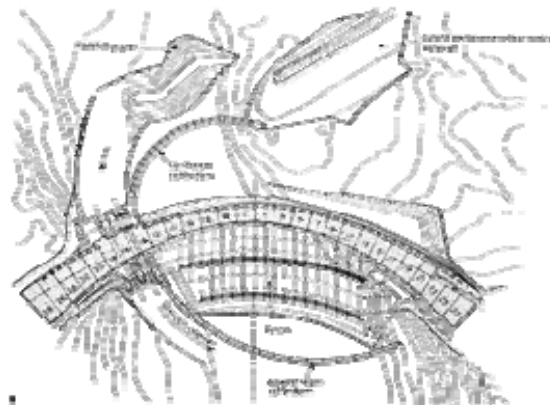
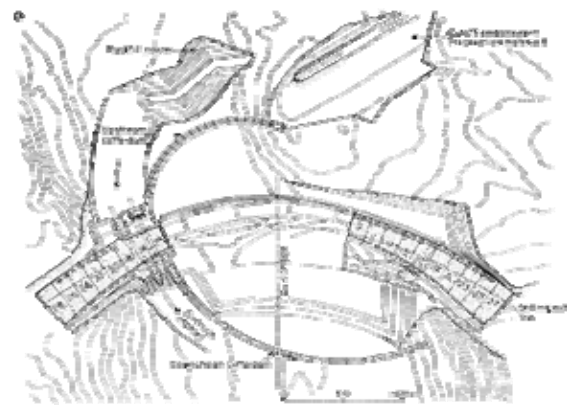
Slika 4-11: Primer stalne uporabe evakuacijskega rova (Pozor: vsi objekti so umaknjeni izven telesa pregrade)



Slika 4-12: Prva faza preusmeritve reke z namenom, da osušimo območje



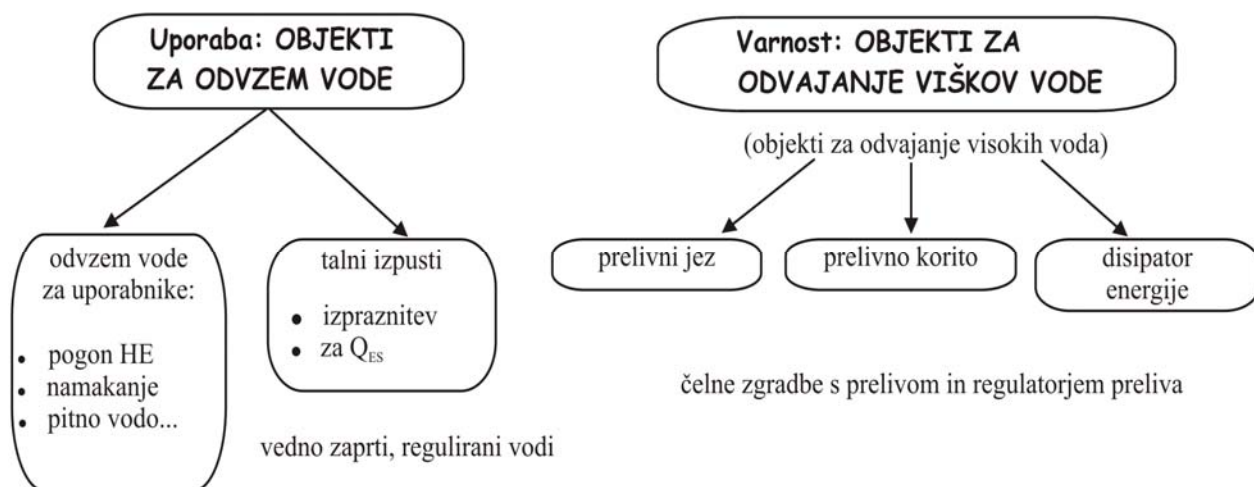
Slika 4-7: Prikaz druge faze pri gradnji jezusa (delno zaprtje vodotoka), pričetek gradnje iz druge smeri



Slika 4-8: Končna faza- gradnja na srednjem delu

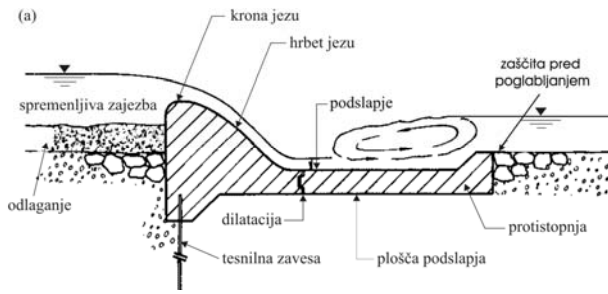
#### 4.5.2 Objekti za odvzem in odvajanje vode

Vsak od navedenih objektov ima specifične lastnosti. Glede na namen rabe jih delimo v dve veliki skupini.

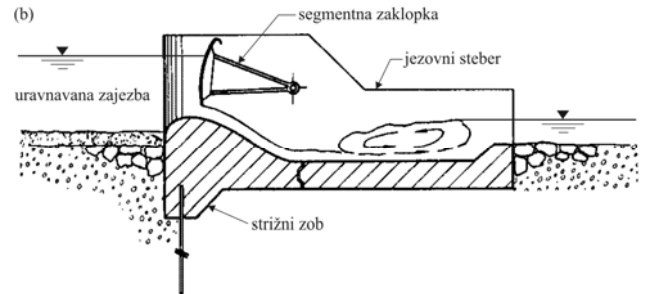


Slika 4-12: Delitev objektov glede na namen rabe

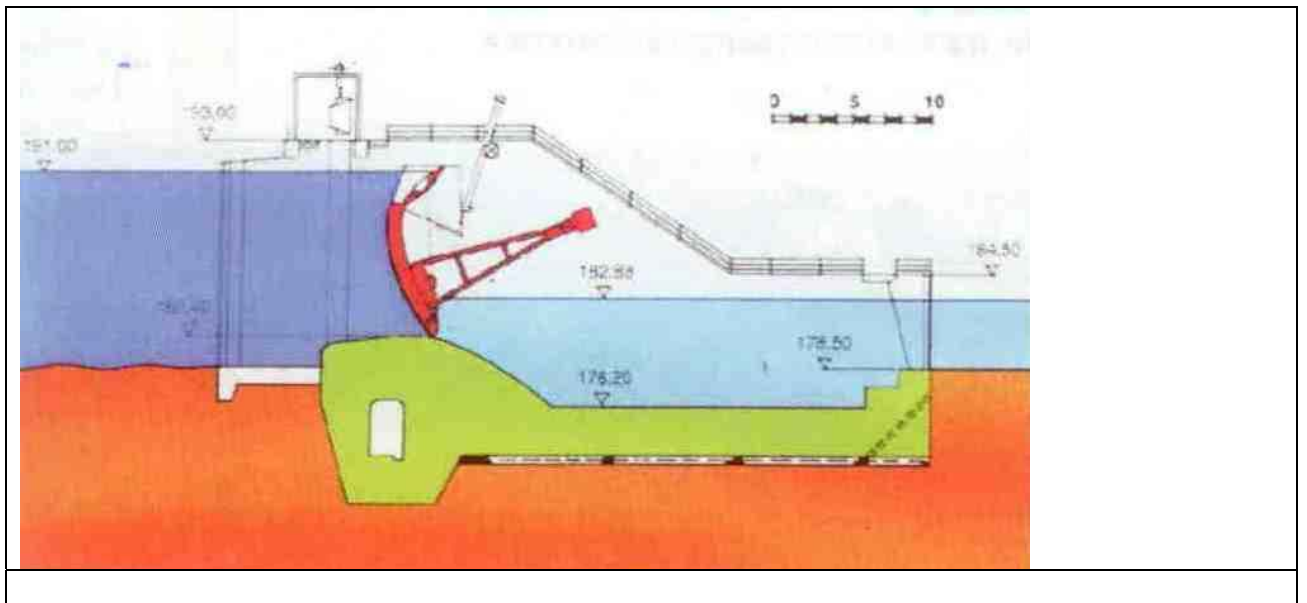




Slika 4-13: Nizek fiksni prag hidravlično ugodne oblike s pripadajočimi ureditvami



Slika 4-14: Jez s segmentno zapornico in pripadajočimi ureditvami



#### 4.5.2.1 Objekti za odvzem vode

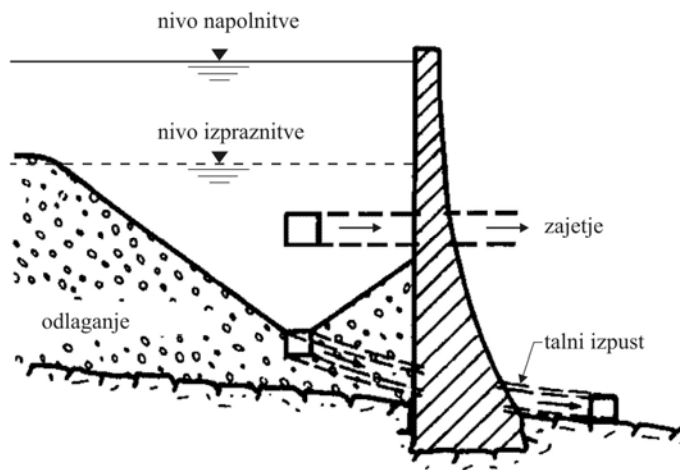
Pri objektih za odvzem vode je vedno potrebna regulacija odjema oz. izpusta. Za takšno regulacijo uporabljamo različne vrste zapornic in ventilov. Vsak izpust mora iz varnostnih razlogov imeti najmanj 2 med seboj neodvisna zaporna mehanizma, običajno obratovalne in zasilne zaporne elemente.

Ločimo:

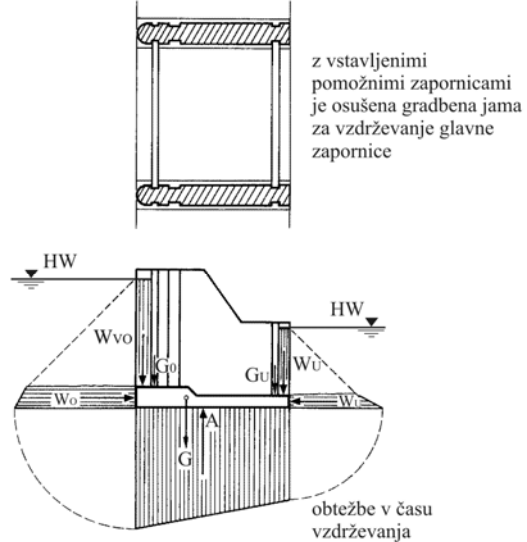
	<p>Zasilne zapornice (1) (revizijske zapornice)</p>	<p>Obratovalne zapornice</p> <p>Pri rovih:                      Regulacijske zapornice</p> <p>Zaporne zapornice</p> <p>Pri cevovodih:                Regulacijske armature (3)</p> <p>Zaporne armature (2)</p>
--	-------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Slika 4-15: Shematski prikaz zasilne zapornice, zaporne armature in regulacijske armature

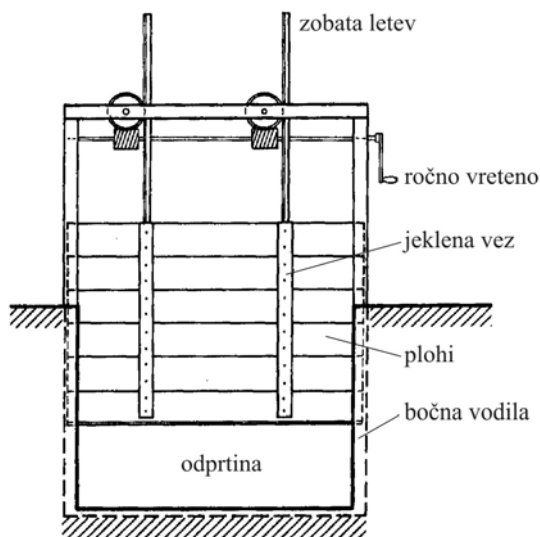




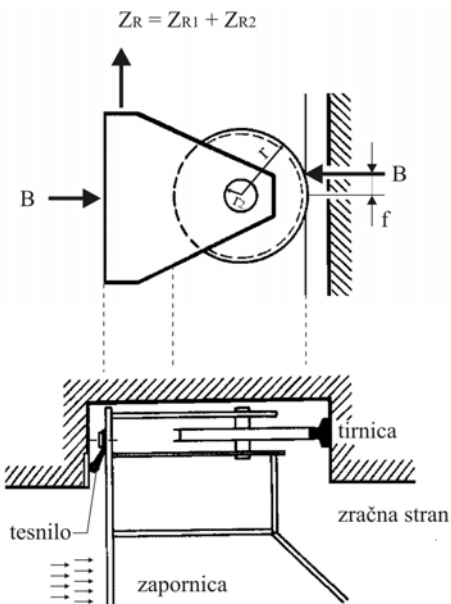
Slika 4-16: Primer talnega izpusta zajetja vode



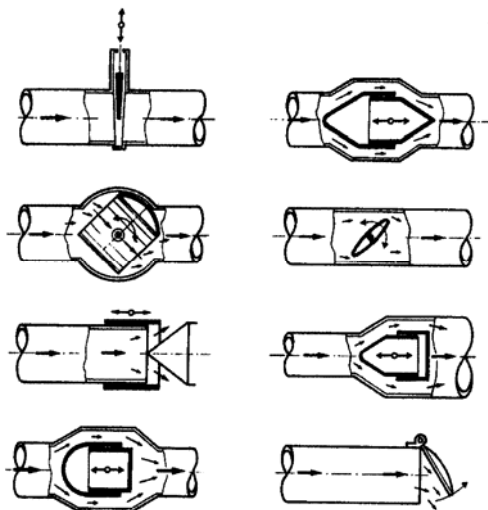
Slika 4-17: Obtežba na objekt, ko so uporabljene zasilne zapornice



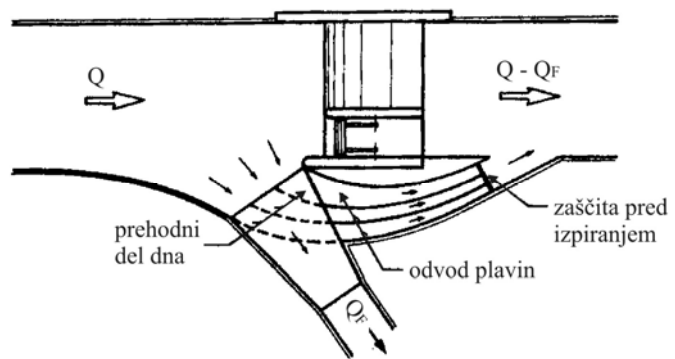
Slika 4-18: Enostavna zapora s tablasto zapornico



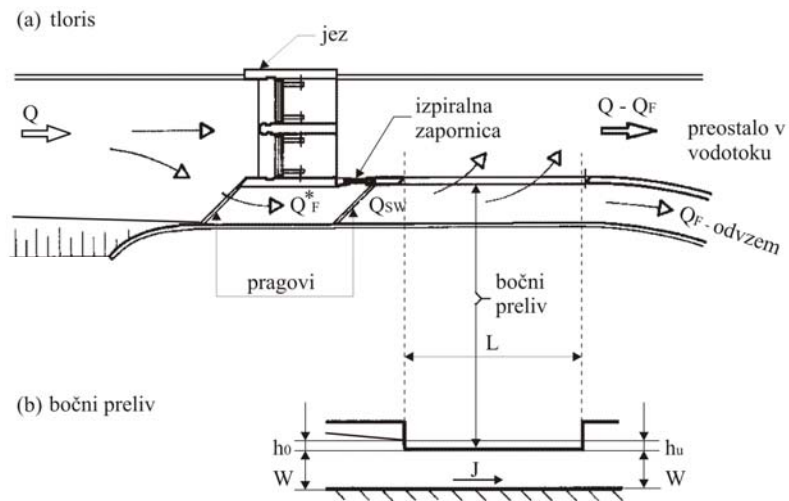
Slika 4-19: Ureditev kolesja za dvig tablaste zapornice



Slika 4-20: Zaporni elementi - vrste zasunov

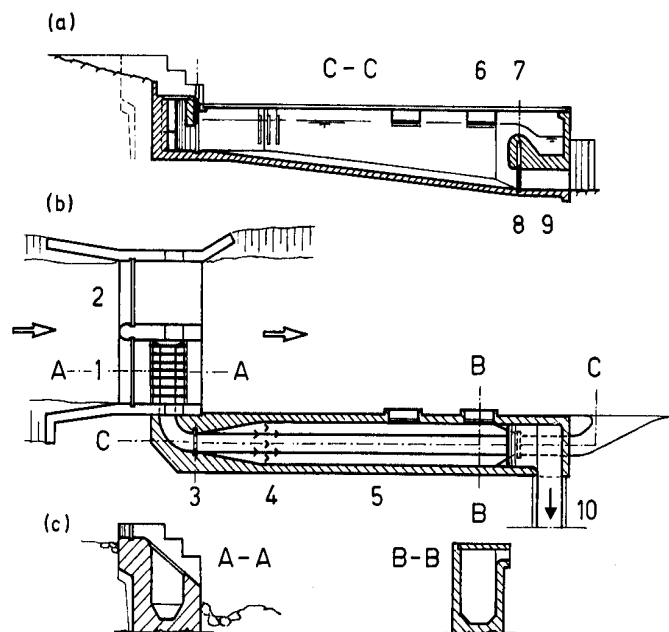


Slika 4-21: Jez zajezi vodotok, z regulacijsko zapornico se uravnava razmerje med odvzetim in preostalim pretokom



Slika 4-22: Jez z gibljivimi napravami (zapornicami)–iz odvzemnega kanala se višek vode bočno prelije nazaj v vodotok

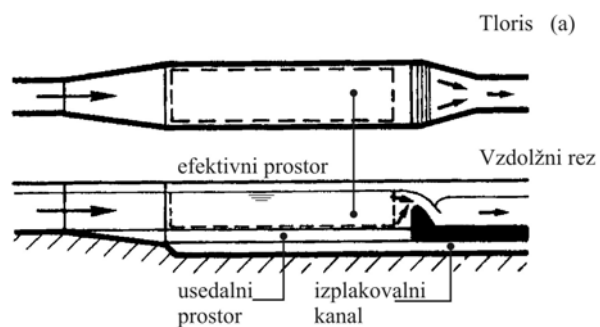
### Tirolsko zajetje



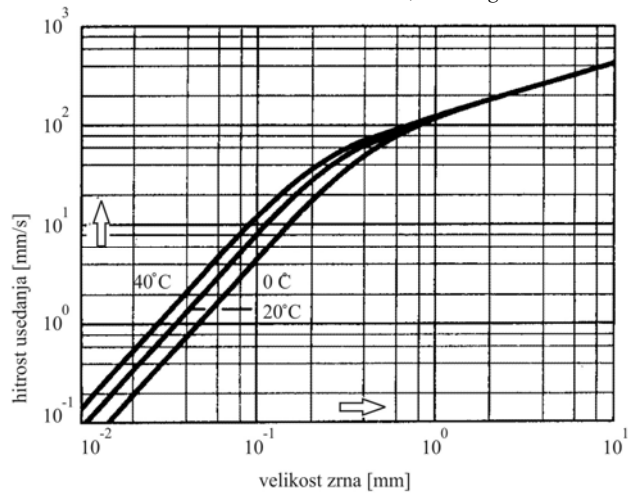
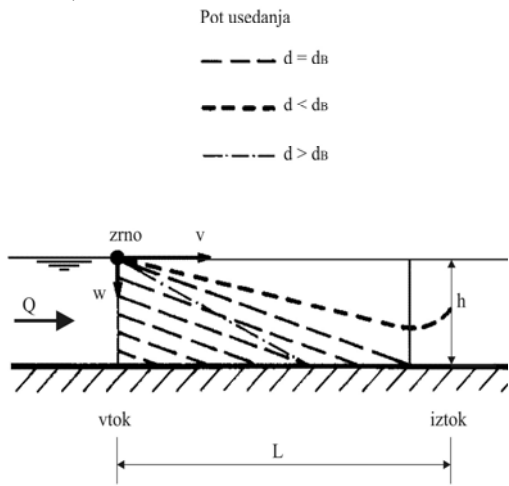
Slika 4-23: Primer odvzema vode v vodotokih s transportom plavin

### Peskolov

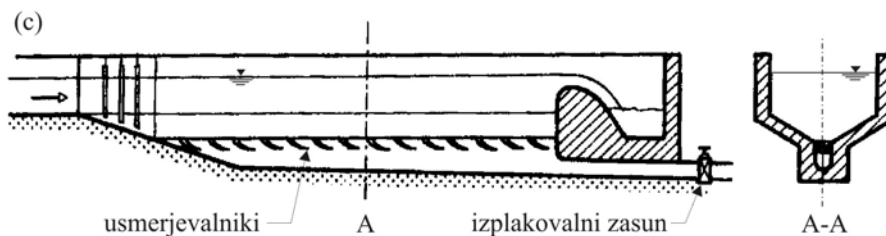
Za mehansko izločanje sedimentov uporabljamo peskolove.



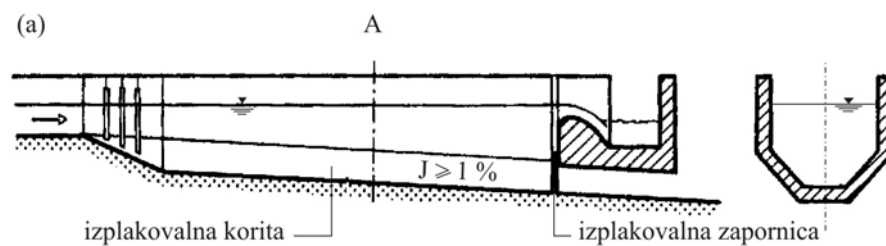
Slika 4-24: Glede na umirjeno tokovno sliko v peskolovu je določen efektivni prostor, kjer se delci usedajo



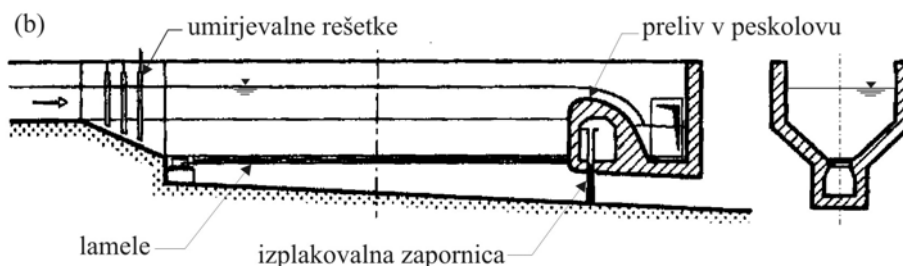
Slika 4-25: Osnovni mehanizem določanja potrebne Slika 4-26: Diagram za določanje hitrosti tonjenja delca dolžine, na kateri se bo usedel tipični (projektni) delec



Slika 4-27: Z lamelami v dnu se preprečuje ponoven dvig delcev



Slika 4-28: Oblika dna poveča lokalne hitrosti, zato je možno izpiranje



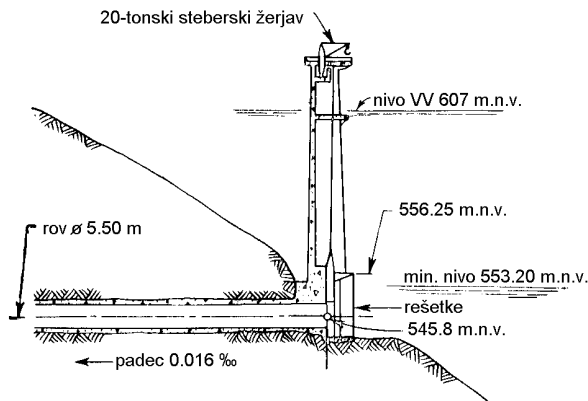
Slika 4-29: Izplakovanje v posebni kineti omogoča neprekinjeno delovanje peskolova

Na vtoku v vsak rov ali cevovod za odvzem vode mora biti:

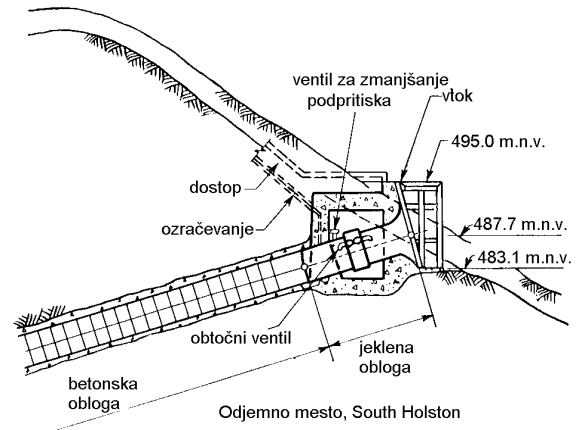
- rešetka (s sistemom za čiščenje rešetke),
- revizijska zapornica z ozračevanjem.

Položaj in tip odjemnega mesta je odvisen predvsem od vrste pregrade in od lokacije porabnika. Posebno ureditev odjemnega mesta je potrebno izvesti pri odvzemu za pitno vodo, kjer je potrebno omogočiti odzem vode na različnih višinah.

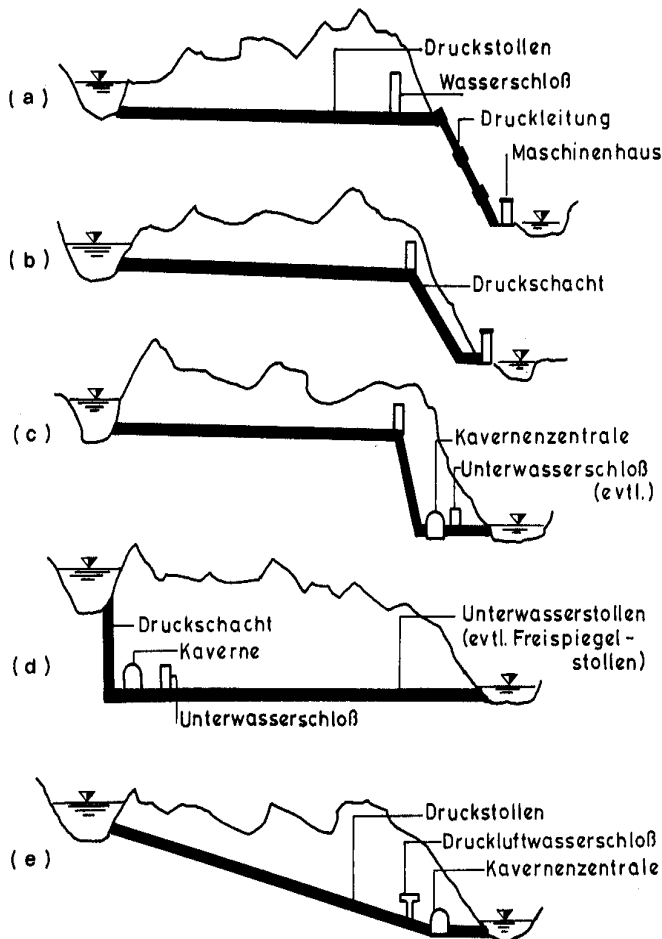
Primeri odjemnih mest:



Slika 4-30: Stolpno zajetje (Watauga)

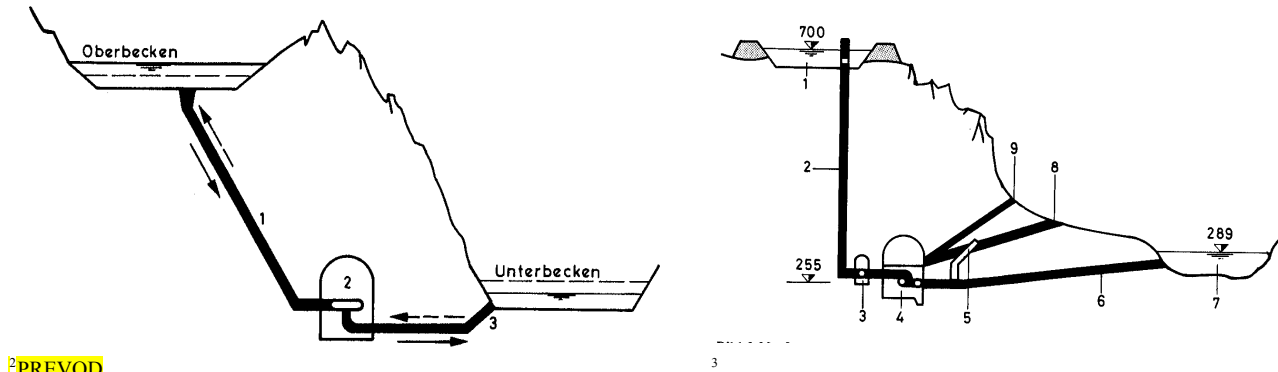


Slika 4-31: Pobočno zajetje (South Holston - USA)



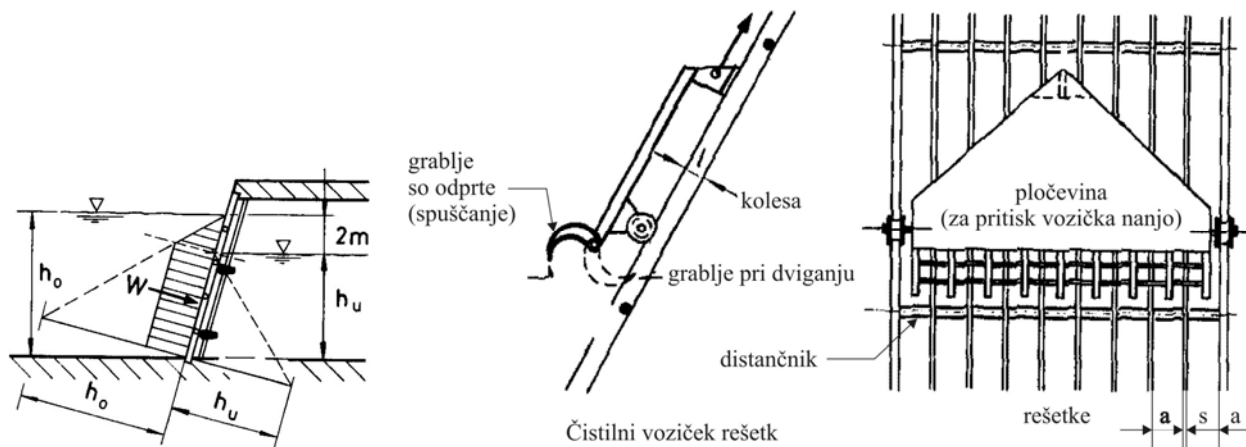
PREVOD

<sup>1</sup> Vir: Wasserbau



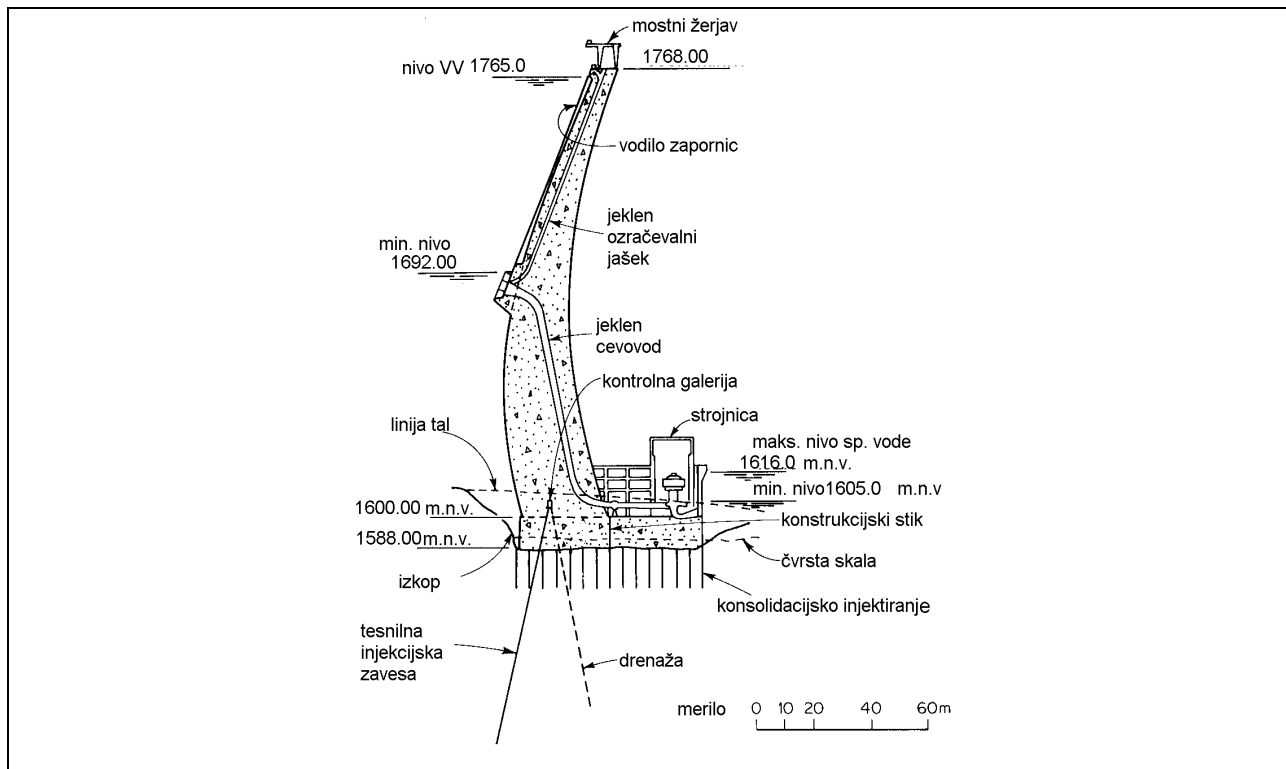
**PREVOD**

Da bi preprečili zamašitev cevovodov je treba na vtoku vanje predvideti rešetke in zanje čistilni stroj.



Slika 4-32: Obtežba na rešetke

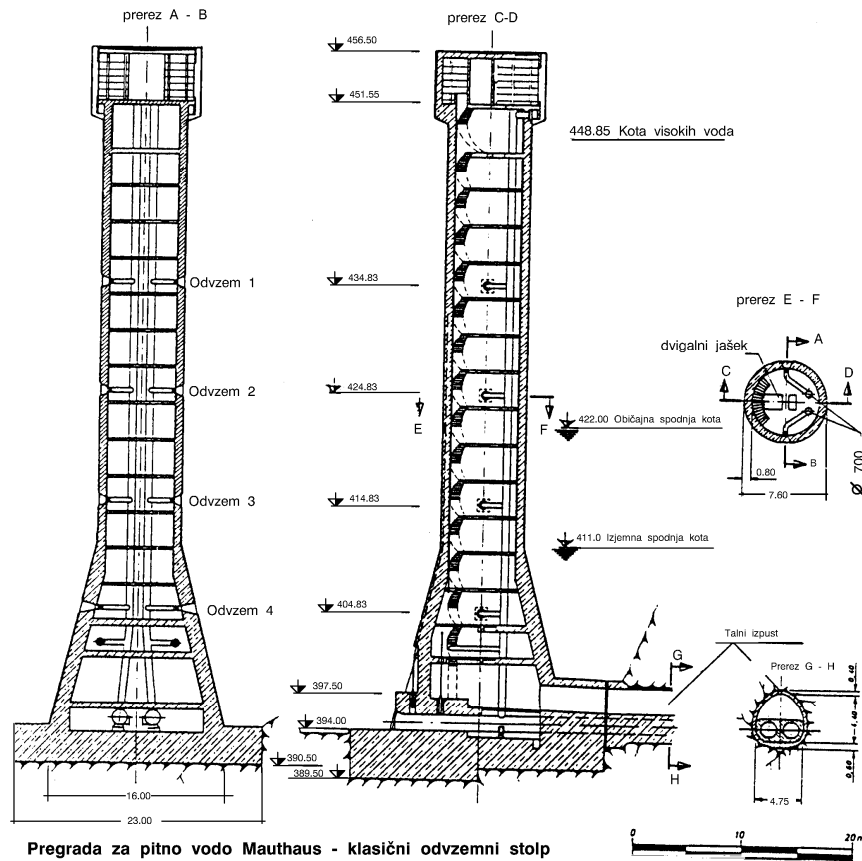
Slika 4-33: Ena od možnih ureditev – čistilni voziček rešetk



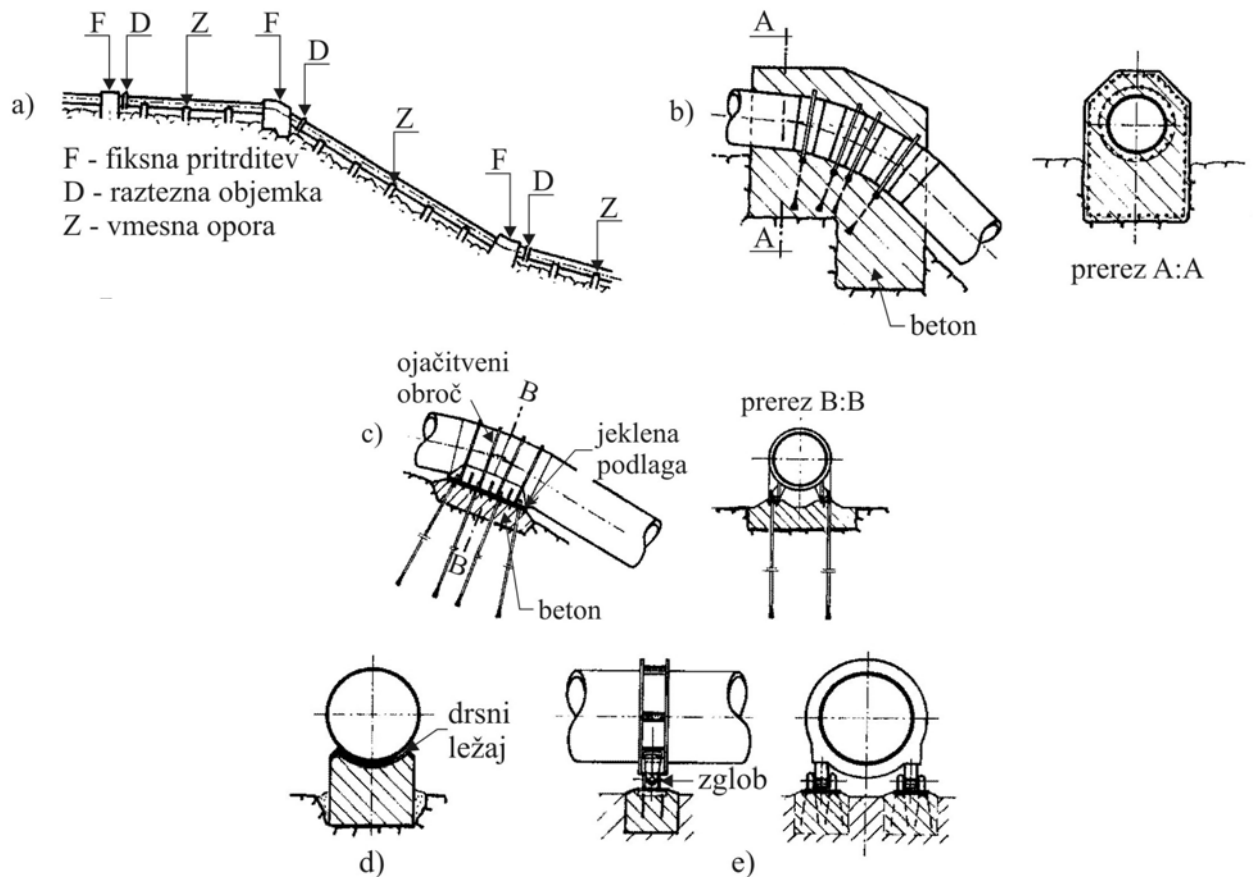
Slika 4-34: Zajem vode za HE v telesu pregrade (Karadj - Iran)

<sup>2</sup> Vir: Wasserbau

<sup>3</sup> Vir: Wasserbau



Slika 4-35: Klasični odvzemni stolp (pregrada za pitno vodo Mauthaus - Nemčija)



Slika 4-36: Na transportnih cevovodih je potrebno zagotoviti stabilnost in pomičnost

#### 4.5.2.2 Objekti za odvajanje viškov vode

Osnova za izbor in dimenzioniranje objektov za odvajanje viškov vode je pretok pri katastrofalno visokih vodah (in pri polni akumulaciji). Kot podlago za dimenzioniranje katastrofalno visokih voda uporabljamo meritve na vodotokih, ki jih opravljamo šele nekaj desetletij, kar je premalo za ugotavljanje pretokov s povratno dobo nekaj stoletij. Zato na podlagi teh meritev s pomočjo statističnih metod ekstrapoliramo vrednosti za pretoke z večjo povratno dobo (oz. z majhno verjetnostjo pojava).

Ob dimenzioniranju je potrebno upoštevati še razmere, ko privzamemo izpad posameznih strojnih elementov ter občutljivost na prelivanje oziroma vrsto pregrade. Približno 1/2 zemeljskih pregrad se je porušila zaradi nastopa večjih pretokov, kot so bili pri načrtovanju upoštevani.

Pregrade dimenzioniramo glede na tip pregrade na sledečo povratno dobo pretokov:

- betonski jezovi                      100 letna visoka voda (VV) - verjetnost da se pojavijo je 1%
- betonske pregrade                1000 letna VV
- zemeljske pregrade                10.000 letna VV

Dodatno lahko predvidimo, da se pretočne kapacitete pri pregradah povečajo zaradi:

- povečanja varnostne višine do krone pregrade (pridobimo nekaj dodatne energije),
- gradnjo zasilnih prelivnih polj (posebej v primeru zemeljskih pregrad),
- omogočanjem prelivanja krone pregrade (ne v primeru zemeljskih pregrad) brez večjih učinkov na stabilnost pregrade - z ureditvijo nižje krone na primerni lokaciji.

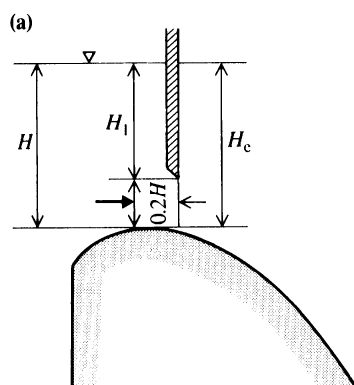
Najzanesljivejši sistem odvodnje visokih voda je s pomočjo prostih prelivov, zato večina objektov uporablja ta način. Pri tem je potrebno biti pozoren na možne pojave:

- dovod vode do prelivov mora biti pravilno dimenzioniran (oblikovan), da ni manjši kot kapaciteta preliva,
- dotok mora biti utrjen, da se ne pojavi erozija,
- radij zakrivljenosti mora biti majhen, da voda nateka na preliv horizontalno,
- morebitni krilni zidovi kanala morajo biti dovolj oddaljena od preliva, da se vrtinci ne prenašajo v samo območje preliva,
- potrebno je preprečiti problem s kavitacijo in zagozditev plavajočih predmetov.

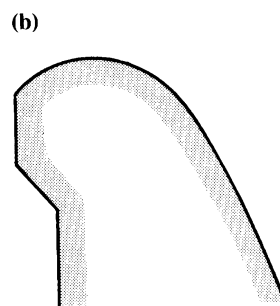
Skoraj vse vrste izvedenih objektov za odvajanje viškov vode lahko uvrstimo v eno od naslednjih skupin:

- Prelivi
- Izpusti
- Prelivna korita
- Bočni (stranski) prelivni
- Jaškasti prelivni
- Sifoni (natege)

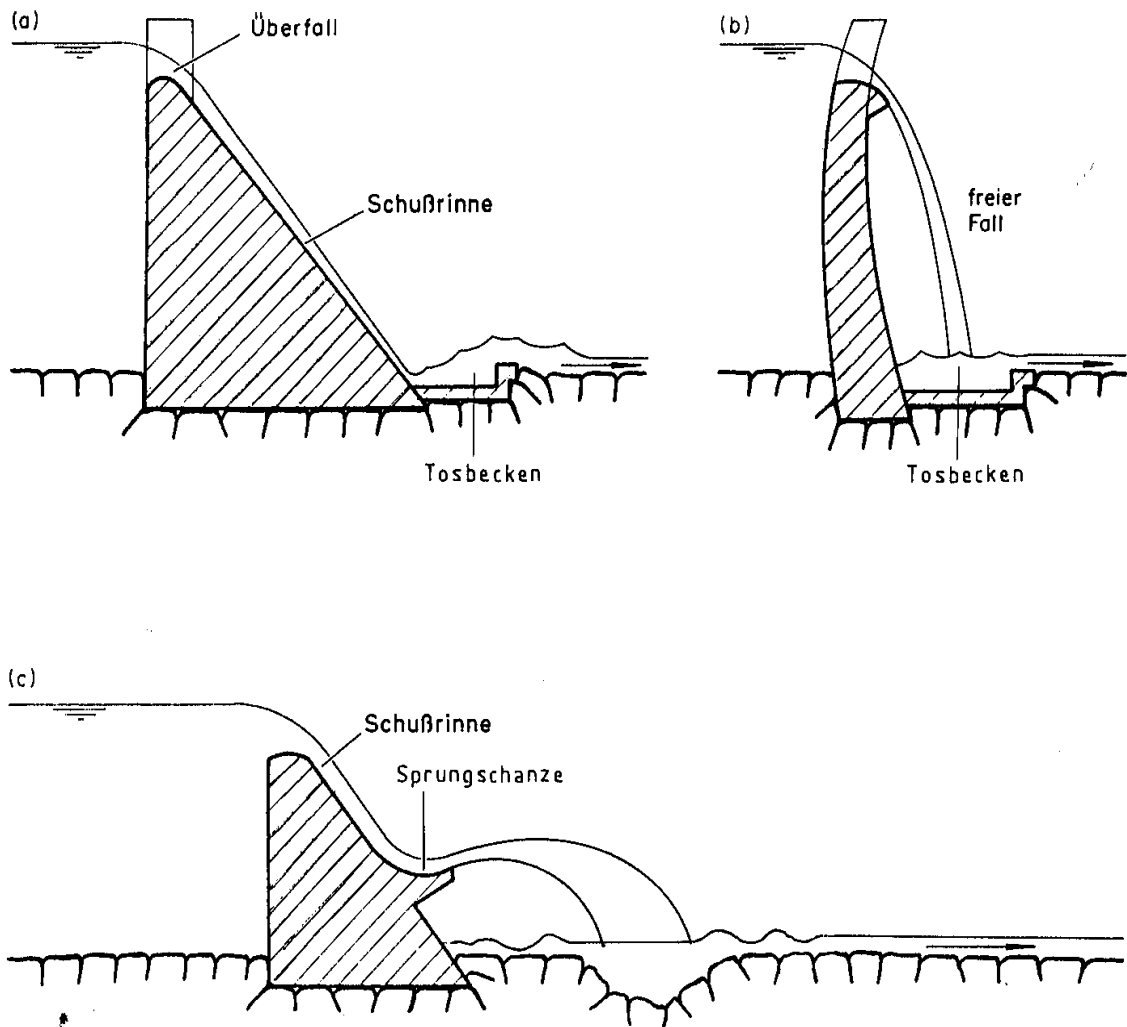
Primeri objektov za odvajanje visokih voda - prelivni:



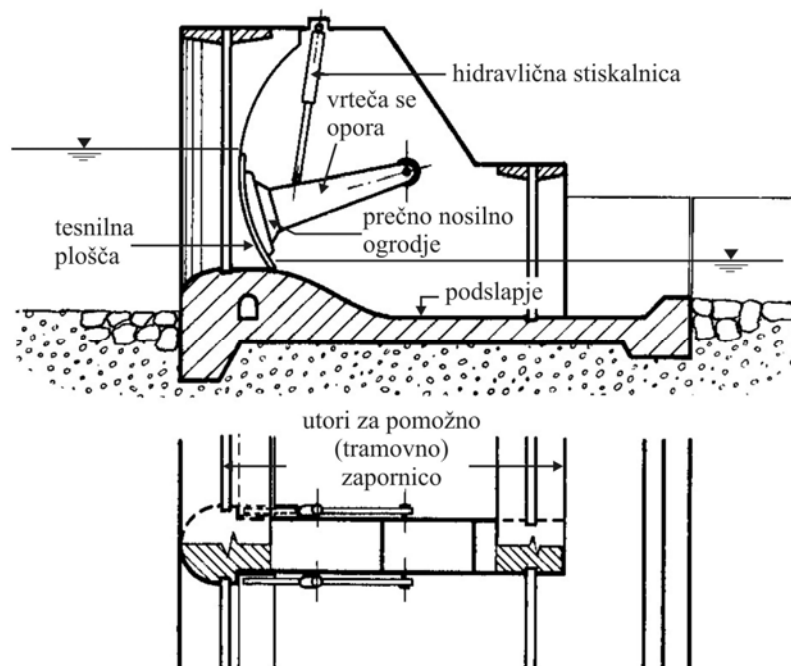
Slika 4-37: Preliv z zapornico za fino regulacijo nivoja



Slika 4-38: Fiksni preliv hidravlično ugodne oblike

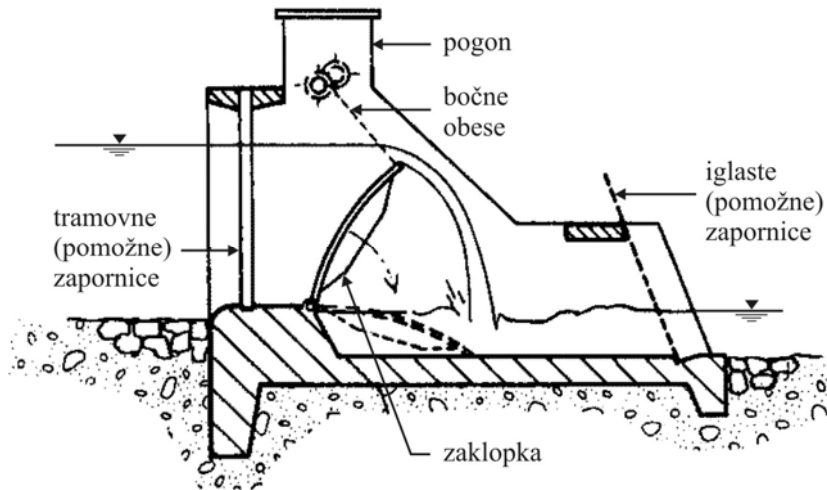


PREVOD



Slika 4-39: Primer segmentne glavne zapornice (in utori za pomožne zapornice)

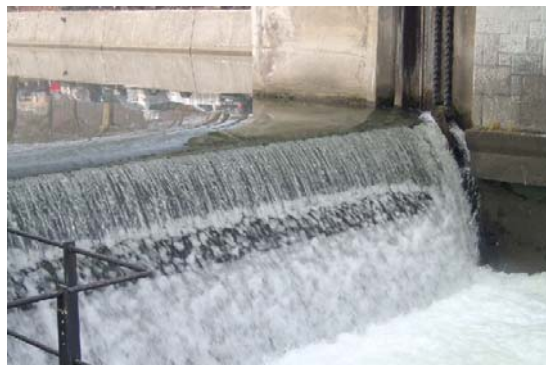




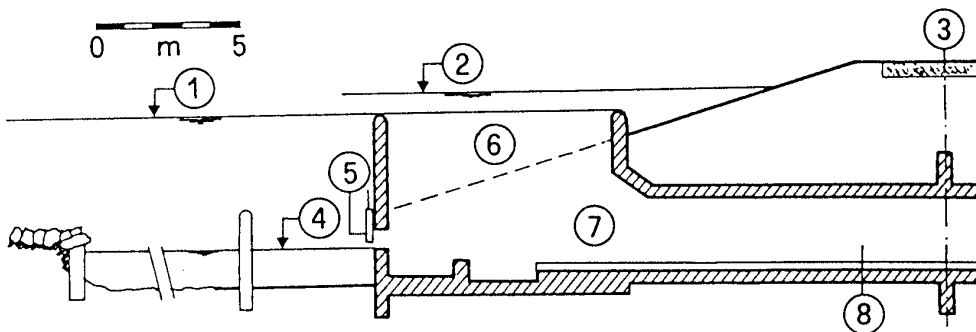
Slika 4-40: Zaklopka kot glavna zapornica in tramovne/iglaste pomožne zapornice



Slika 4-41: Zapornica Ljubljane pri Ambroževem trgu



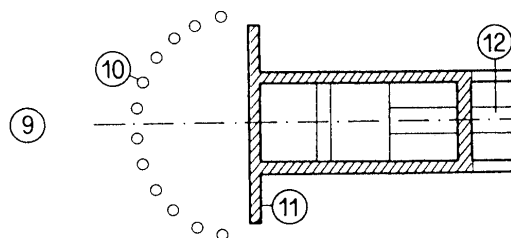
Slika 4-42: Zapornica Ljubljane pri Ambroževem trgu



Legenda:

- 1 – običajna zajezba
- 2 – max. zajezba (prelivna višina)
- 3 – krona pregrade
- 4 – kota stalne zajezbe
- 5 – doziranje vode uporabniku
- 6 – prelivni (vtočni) jašek
- 7 – vtok
- 8 – izpust

Slika 4-41: Zvončast preliv-vzdolžni prerez

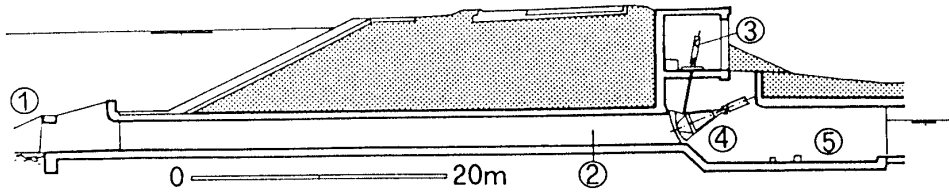


Legenda:

- 9 – vtočni objekt
- 10 – prostorska rešetka
- 11 – krilni zidovi
- 12 – železo za nizke vode

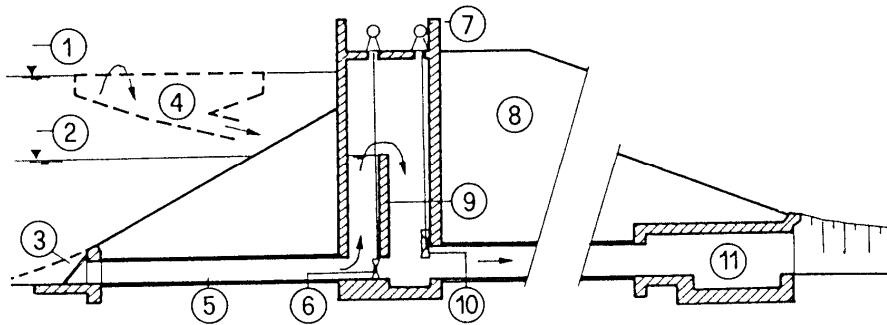
Slika 4-42: Zvončast preliv - tloris

Legenda:



- 1 – vtok
- 2 – dovodni cevovod
- 3 – doziranje in izpuščanje VV
- 4 – segmentna zapornica
- 5 – podslapje

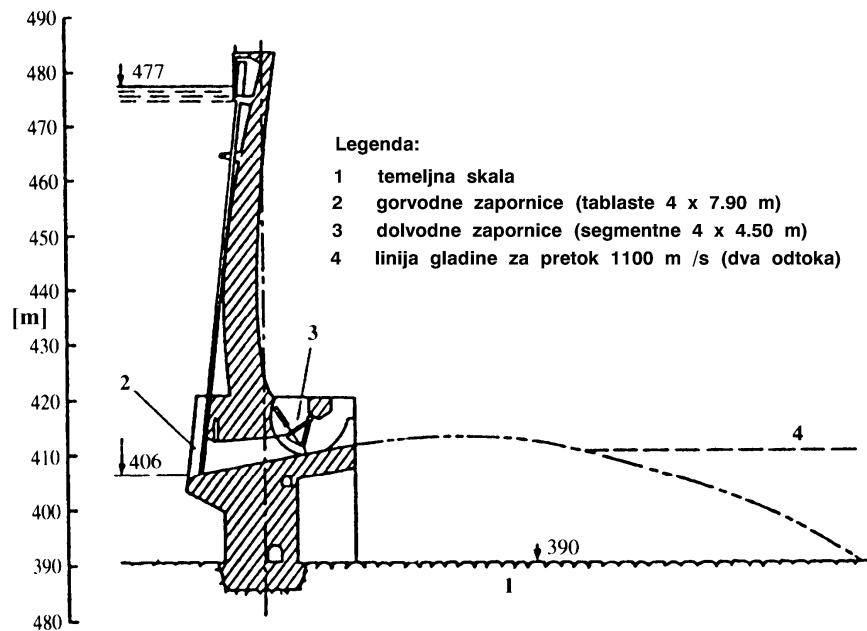
Slika 4-43: Pregrada s tlačnim rovom do iztoka



Legenda:

- 1 – običajna zaježba
- 2 – stalna zaježba
- 3 – vtok z grobimi rešetkami
- 4 – ločen preliv za VV
- 5 – dovod za uporabnika
- 6 – talni izpust (zasun)
- 7 – zavarovanje (veter)
- 8 – telo pregrade
- 9 – zaježni zid
- 10 – regulacija odtoka (zasun)
- 11 – podslapje (skupaj z odtokom VV)

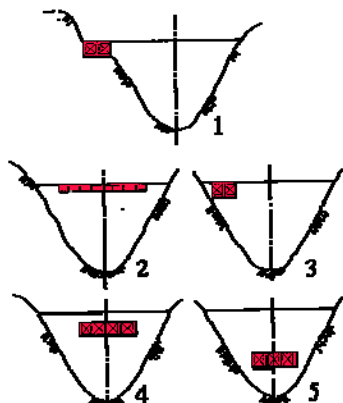
Slika 4-44: Ločen vtok in odvajanje visokih voda



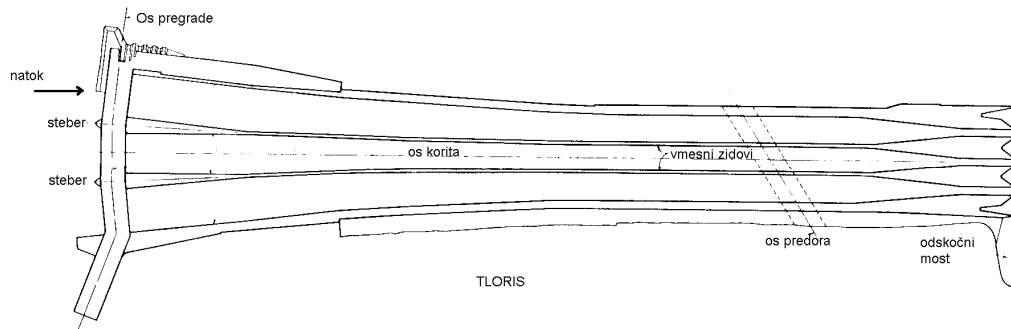
Legenda:

- 1 temeljna skala
- 2 gorvodne zapornice (tablaste 4 x 7.90 m)
- 3 dolvodne zapornice (segmentne 4 x 4.50 m)
- 4 linija gladine za pretok 1100 m<sup>3</sup>/s (dva odtoka)

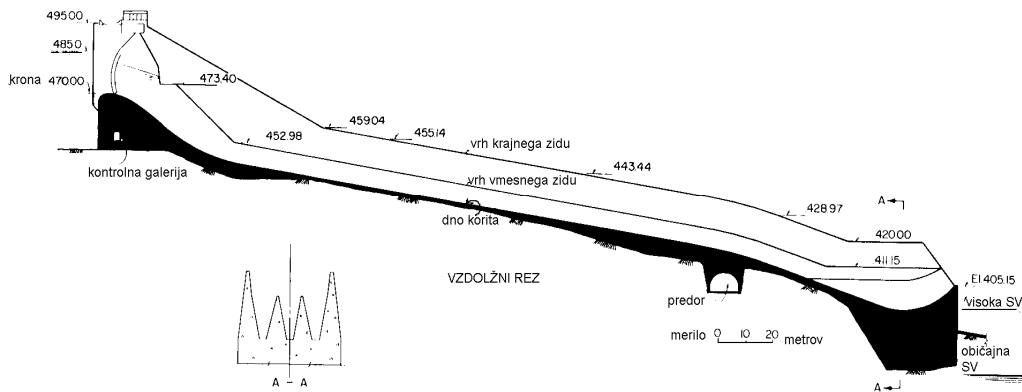
Slika 4-45: Izpust v ločni pregradi zaprt s segmentno zapornico



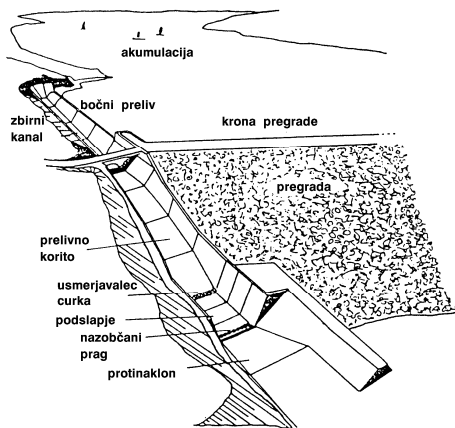
Slika 4-46: Razne lokacije preliva oz. izpusta



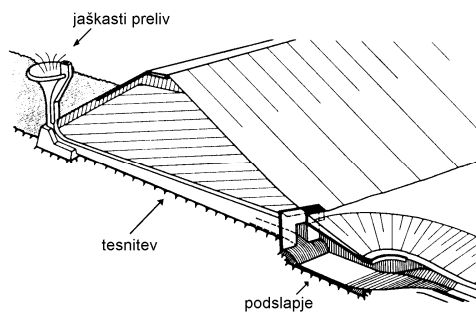
Slika 4-46: Tloris prelivnega korita



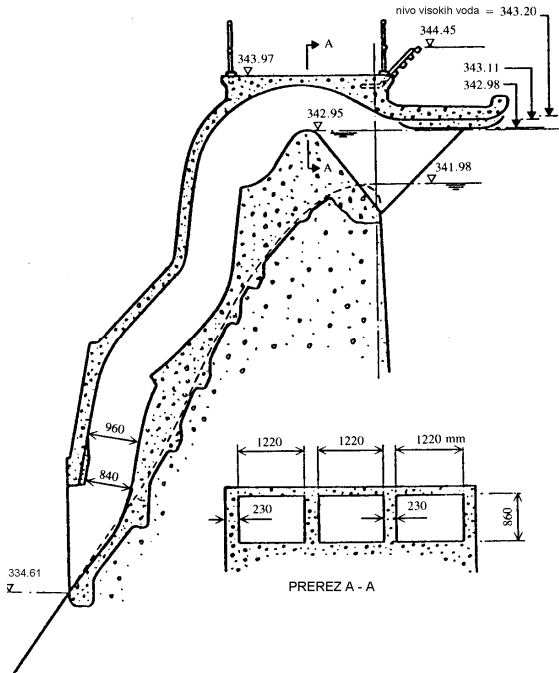
Slika 4-47: Vzdolžni rez prelivnega korita



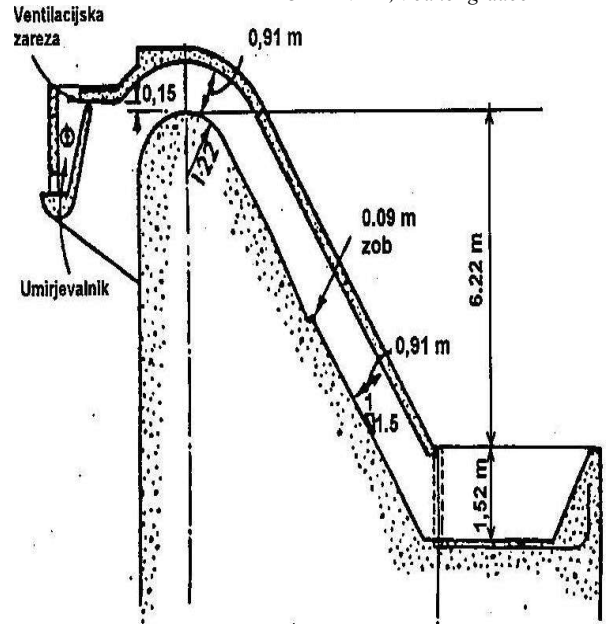
Slika 4-48: Bočni (stranski) preliv



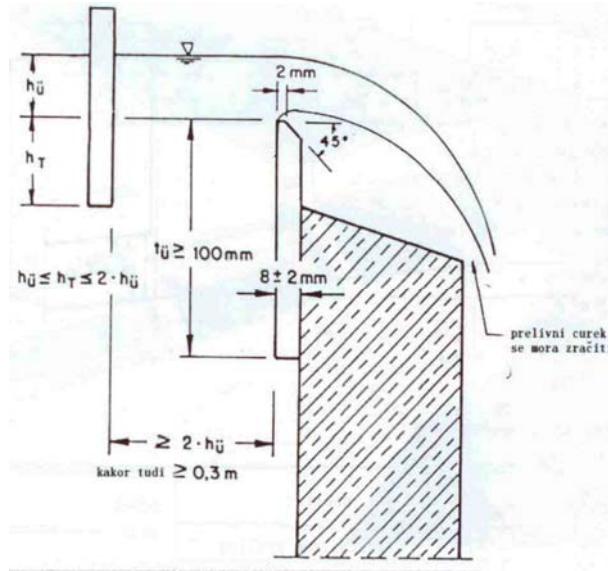
Slika 4-49: Jaškasti preliv



Slika 4-50: Sifon (natega)



Slika 4-51: Sifonski preliv Plover Cove

Slika 4-51: Ostrorobi preliv s potopno steno<sup>4</sup>

### 4.5.3 Objekti za disipacijo energije

Z ustvarjanjem zajeze voda pridobiva potencialno energijo, ki jo lahko izkoriščamo v različne namene pri normalnem obratovanju (HE, namakanje...).

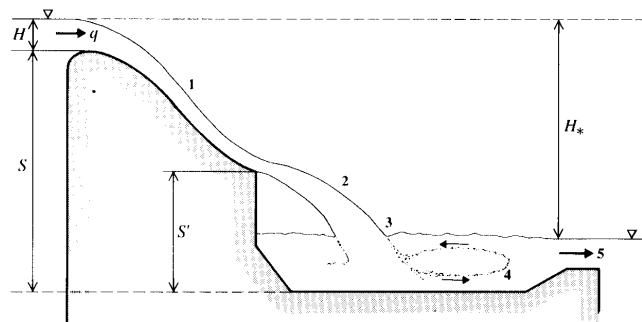
V primeru, ko pa moramo odvajati vodo iz akumulacije mimo porabnikov (praznitev, odvajanje viška vode pri visokih vodah), pa moramo poskrbeti za ti "odvišno" energijo. Pri velikih pretokih in velikih višinah pregrad gre za zelo veliko energije, ki jo moramo porabiti - disipirati, da ne ogroža dolvodnega odseka oziroma temeljev pregrade.

Voda, ki se preliva iz akumulacije, lahko na svoji poti do dolvodnega odseka preide skozi vrsto pojavov. V vsaki obliki gibanja se odvijajo disipacijski procesi oz. poraba razpoložljive energije vodne mase.

<sup>4</sup> Vir: Gradbeni vestnik, november 2005, str. 265)

Dogajanje lahko razdelimo na 5 faz (ki pa niso nujno vedno vse prisotne):

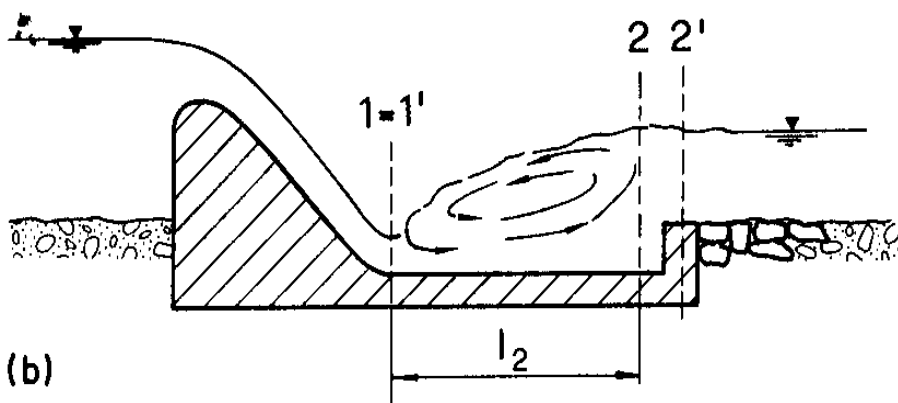
1. dotok in tok čez preliv in drčjo (večja hrapavost - večje energijske izgube),
2. prosti let curka (večje ozračanje - manjša specifična teža),
3. pad curka v podslapje (vodni bazen deluje kot blažilnik),
4. turbulenca (mešanje, vodni skok v podslapju),
5. odtok iz podslapja v dolvodni odvodnik.



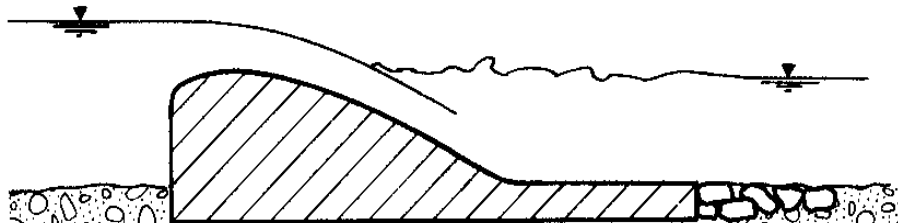
Vse faze so lepo razvidne iz slike desno.

Slika 4-48: Osnovne faze disipacijskega procesa

(a)



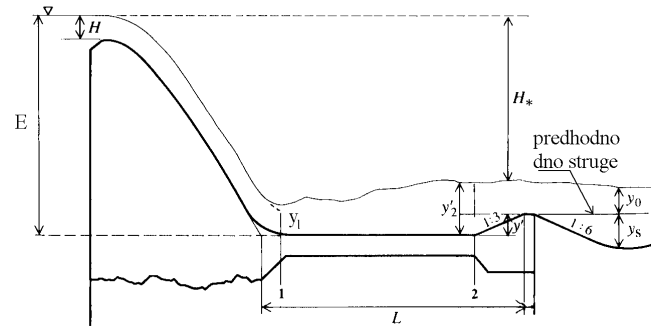
(b)



### 4.5.3.1 Podslapje

Je praktično nepogrešljivi del takih ureditev. Namen tega objekta je, da v njem (torej v vnaprej določeni lokaciji) dosežemo umiritev vodnega toka tako, da voda odteka v režimu mirnega toka dolvodno.

Najenostavnejša oblika je s prelivnim curkom, ki vteka v dolvodni bazen. Le-ta je poglobljen, tako da je vtekajoči curek zaradi vpliva spodnje vode potopljen.



Slika 4-49: Shema parametrov potrebnih za dimenzioniranje podslapja

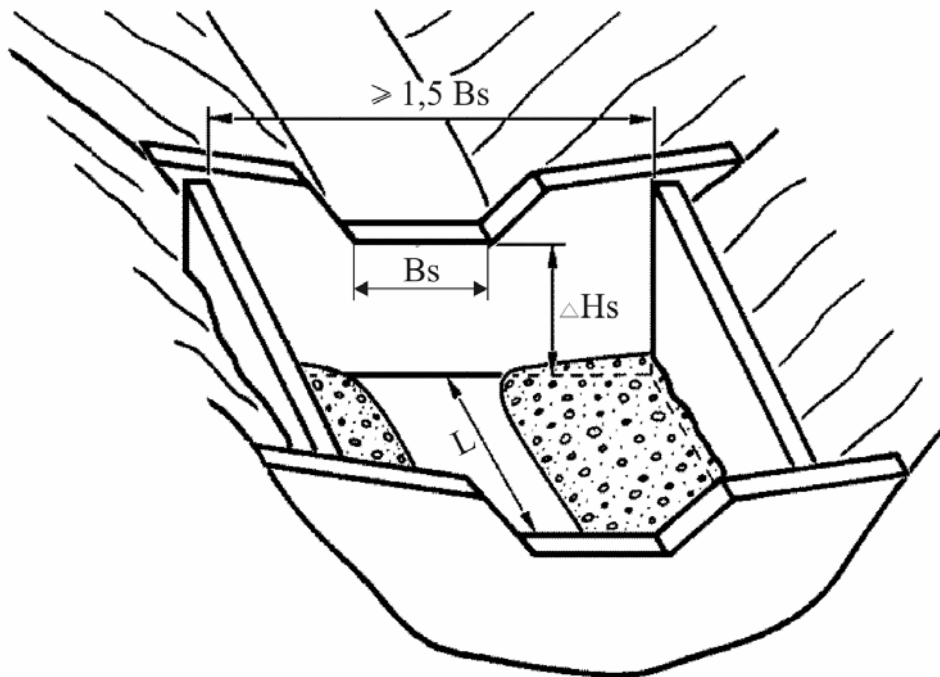
Doseči moramo torej umiritev curka, ki doteka z veliko hitrostjo (in globino  $y_1$ ), da dobimo umirjen odtok z globino  $y_2$ . Energija vtočnega curka znaša:

$$E = y_1 + \frac{\alpha q^2}{2g\varphi^2 y_1^2},$$

kjer je:

$q$  pretok na enoto širine

$\varphi$  koeficient hitrosti (razmerje med dejansko in teoretično vrednostjo).



Slika 4-53: Podslapje zgrajeno z dodatno pregrado (manjše višine)

Za pravokotno obliko bazena lahko izračunamo odgovarjajočo globino  $y_2$  (za mirni tok)

$$y_2 = \frac{y_1}{2} \left( -1 + \sqrt{1 + \frac{8q^2}{gy_1^3}} \right)$$

in potrebno globino in dolžino podslapja:

$$y' = y_2' - y_0 = \sigma' * y_2 - y_0$$

$$L = K (y_2 - y_1)$$

Vrednosti  $\sigma'$  in  $K$  sta koeficienta, določena eksperimentalno ali z meritvami na terenu.

V takšnem podslapju se pojavlja kar nekaj problemov:

- vzgon (ki je lahko večji od hidrostatičnih tlakov v bazenu),
- vibracije (ki izvirajo iz turbulence vodne mase),
- abrazija (ki se pojavlja predvsem, če je v podslapje speljan še talni izpust, od koder dotekajo sedimenti).

Ureditev podslapja zato zahteva veliko pozornosti. Kljub vsem ureditvam, pa še vedno ostaja del energije v umirjenem vodnem toku, zato se vedno za takšnim objektom pojavi še tolmun. Poglobitev v dnu vodotoka okvirno znaša:

$$y_s = 0.55 \left( 6 \cdot H_*^{0.25} \cdot q^{0.5} \cdot (y_0 / d_{90})^{1/3} - y_0 \right),$$

kjer se  $d_{90}$  nanaša na material rečnega dna. Pri analizi podslapja moramo torej upoštevati tudi možnost gorvodnega izpodjedanja zaradi pojava takega tolmuna.

## 4.6 Opazovanje pregrad

Akumulacije predstavljajo potencialno nevarnost za življenje in objekte dolvodno od njih. Pogosto bi porušitev pregrade privedla do katastrofalnih posledic. Nekaj porušitev pregrad je v moderni zgodovini že bilo opazovanih in analiziranih:

**Preglednica 4-1:** Največje katastrofe pregrad od 1959 do 1979

Pregrada (leto dogodka)	Tip / višina (m) (leto izgradnje)	Dogodek
Malpasset (1959) Francija	ločna / 61 m (1954)	napaka v temeljenju in popustitev opornika; popolna porušitev (421 žrtev)
akumulacija Vaiont (1963) Italija	ločna / 262 m (1960)	zdrs zemeljskega plazju v akumulacijo ( $200 \times 10^6 \text{ m}^3$ ); poplavni val preko pregrade višine 110 m; pregrada nepoškodovana (cca. 2000 žrtev)
Teton (1976) ZDA	zemeljska / 93 m (v izgradnji)	notranja erozija zaradi slabo izvedenega temelja jedra pregrade; popolna porušitev (11 žrtev, škoda \$500 mil.)
Macchu II (1979) Indija	zemeljska in težnostna / 26 m (1972)	preplavitev pregrade in izpiranje brežin pregrade zaradi katastrofalnih poplav (preko 2000 žrtev)

Katastrofalna porušitev pregrade je v vseh primerih, razen v slučaju katastrofalnih poplav, posledica napredovanja konstruktivnih napak v pregradi ali njenem temelju. Programi za opazovanje pregrad ter instalirana oprema služijo zaznavanju teh napak v čim zgodnejših fazah.

Sama namestitev opazovalnih inštrumentov še ne zagotavlja uspešnega opazovalnega programa. Osnovna funkcija naprav je odkrivanje napačnih trendov v obnašanju pregrade in omogočanje zgodnjega opozarjanja pred njimi. Število instaliranih instrumentov je manj pomembno kot pa izbor primerne opreme, pravilna instalacija na kritičnih mestih ter razumna interpretacija rezultatov.

Namestitev opazovalnih sistemov je običajen postopek pri vseh modernih pregradah. Pri novih pregradah služi vgrajena oprema za potrditev predpostavk uporabljenih pri projektiranju ter določitvi začetnega stanja, medtem ko pri starih pregradah omogoča pregled nad varnostjo pregrade.

Funkcije vgrajene opreme so lahko sledeče:

- *Nadzor gradnje:* verifikacija ključnih parametrov načrtovanja in možnost takojšnje adaptacije na nastale razmere.

- *Kontrola lastnosti pregrade ob zaključku gradnje:* validacija načrtovanja, določitev začetnih pogojev meritev.
- *Kontrola obratovanja:* zagotovitev varnosti pregrade, registracija počasnih negativnih sprememb, raziskovanje registriranih ali sumljenih problemov.
- *Raziskovanje in razvoj:* akademsko raziskovanje, preizkuševanje opreme in razvoj.

Ta področja se očitno tudi medsebojno prekrivajo.

Z opazovalnim programom predvsem merimo naslednje parametre:

- pronicanje skozi in ob pregradi (količino, naravo in vir),
- posedke in višino do krone pregrade (velikost in hitrost),
- zunanje in notranje deformacije (velikost, hitrost in lokacijo),
- porne pritiske in vzgon (velikost, spremembe),
- notranje napetosti (velikost).

Glede na vrsto pregrade se spreminja tudi vpliv (pomembnosti) posameznih merjenih parametrov.

Instrumenti za opazovanje morajo zadostiti nekaterim posebnim pogojem:

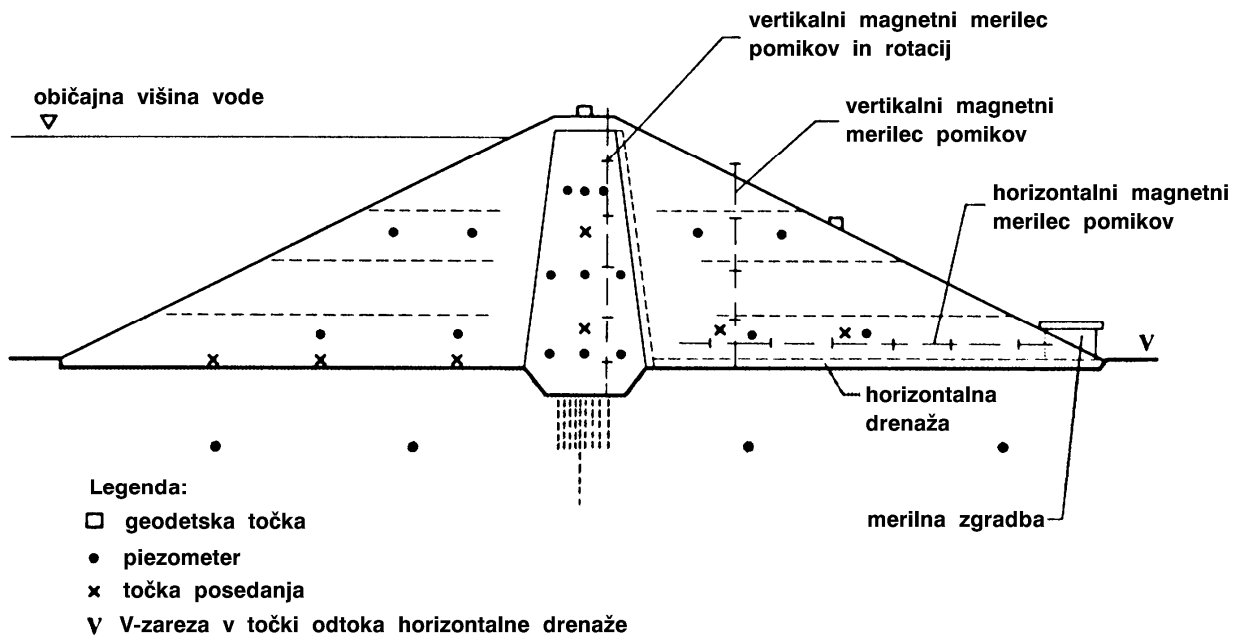
- čimbolj enostaven koncept merskega instrumenta,
- robusten in zanesljiv,
- trajen v spreminjajočih se razmerah obratovanja,
- ekonomično delovanje (nakup, vgradnja in vzdrževanje).

#### **Preglednica 4-2: Uporabnost nekaterih instrumentov za merjenje opazovanih parametrov**

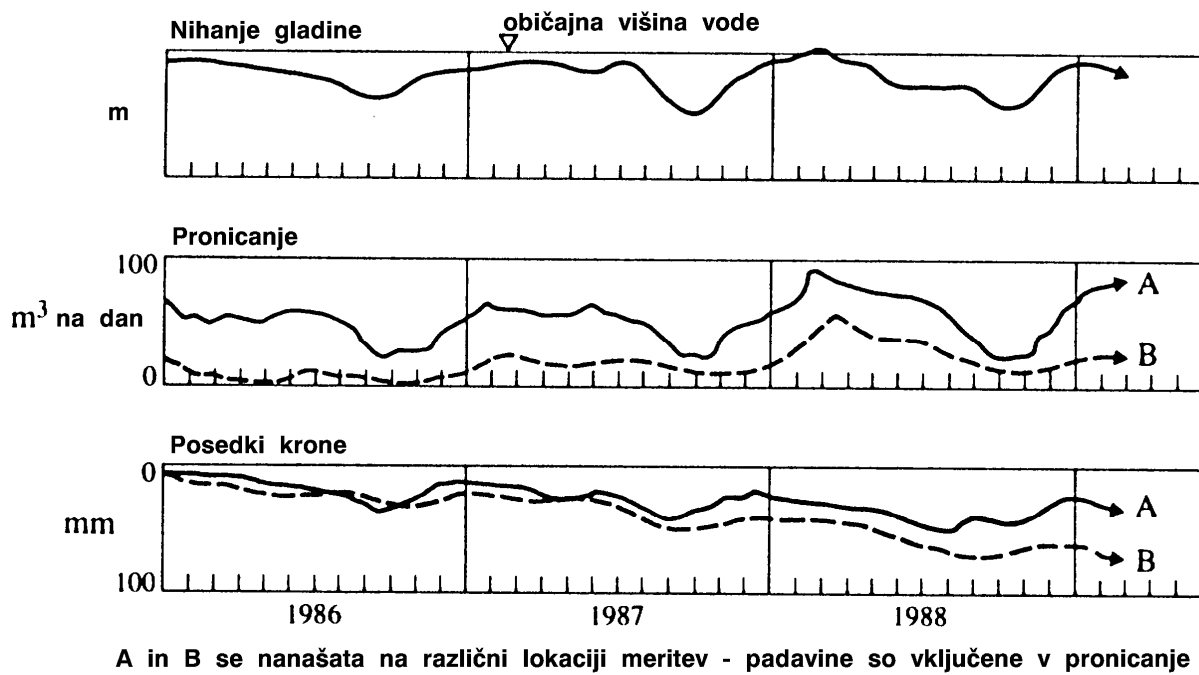
Parameter	Instrumenti	Merjenje	Primer napake	Tip pregrade
pronicanje	drenaže / poddrenaže z V -prelivom (idealno na več ločenih prerezih pregrade / temeljev)	količina in lastnost pronicujoče vode (čista ali kalna)	lahko bi ugotovili začetke nastajanja razpok in/ali notranje erozije	zemeljska / betonska
premiki	natančna geodezija (optična ali elektronska)	orientacijsko	premiki	zemeljska / betonska
porne pritisk	piezometri	vodni tlaki v zemljini pregrade	razpoke jedra ali začetna nestabilnost	zemeljska
vzgon	piezometri	vodni pritiski v betonu ali skalnih temeljnih tleh	nestabilnost, drsenje	betonska
posedki	natančna geodezija (površinska)  merilci posedkov (notranji)	posedki krone pregrade  notranji ali relativni posedki	prevrnitev (betonska) ali zmanjšanje varnostne višine krone (zemeljska)  posedanje jedra ali deformacije temeljev	zemeljska / betonska
zunanje deformacije	natančna geodezija (površinska)	zvižanje površine	lokalni premiki, nestabilnost	zemeljska / betonska
notranje def./ razpoke (vertikalne, horizontalne)	merilci zasukov in lokalnih premikov ali nihajni jaški	notranji relativni premiki	začetna nestabilnost	zemeljska
napetosti / tlaki	tlačne celice	celoten tlak	hidravlični lom in notranja erozija	zemeljska

Pri načrtovanju opazovalnega programa moramo posebno pozornost posvetiti še izbiri opreme glede na cilj opazovanja in zajemanja podatkov. Končni in najpomembnejši člen v verigi opazovanj je izvrednotenje merjenih rezultatov in kritična ocena možnega dogajanja. Predstavo o obsegu opremljenosti pregrad z merskimi inštrumenti nam podajata naslednji sliki. Razvidno je, da je opremljenost zemeljskih pregrad (pomembne so zlasti deformacije in pronicanje) izrazito drugačna od opremljenosti betonskih - primer ločne pregrade (opazujemo zlasti napetosti v pregradi).



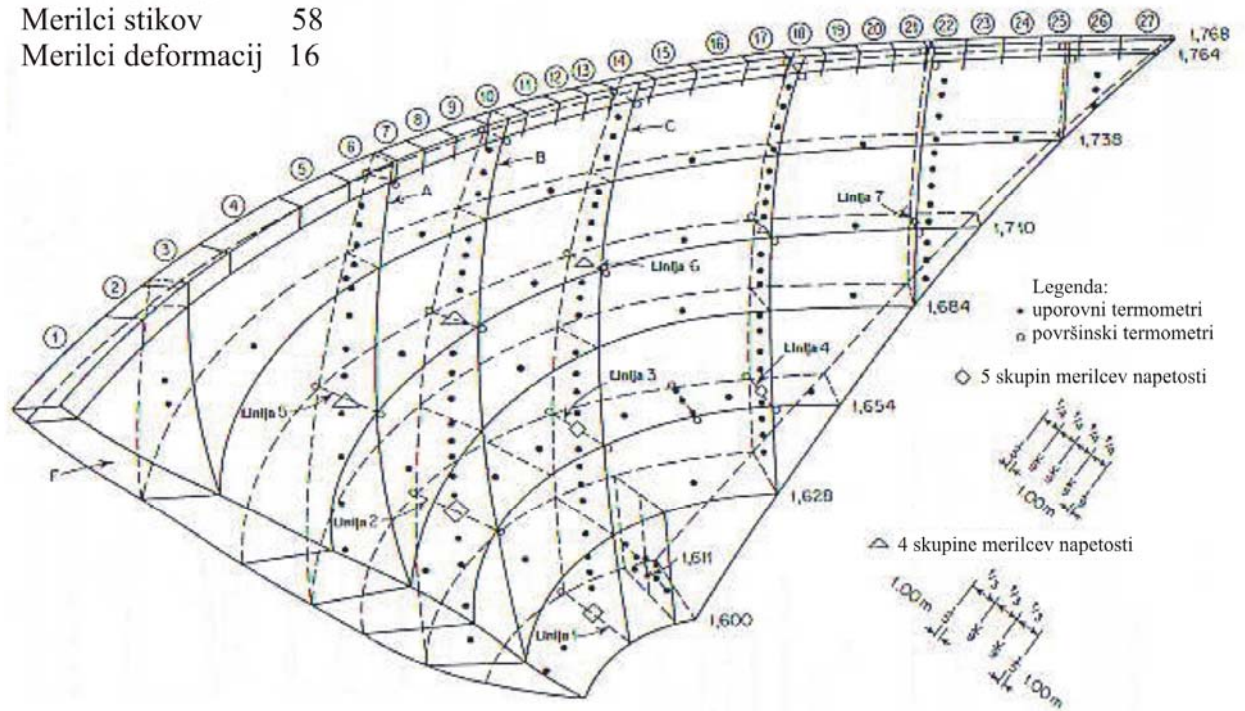


Slika 4-50: Primer opremljenosti zemeljske pregrade z merskimi inštrumenti



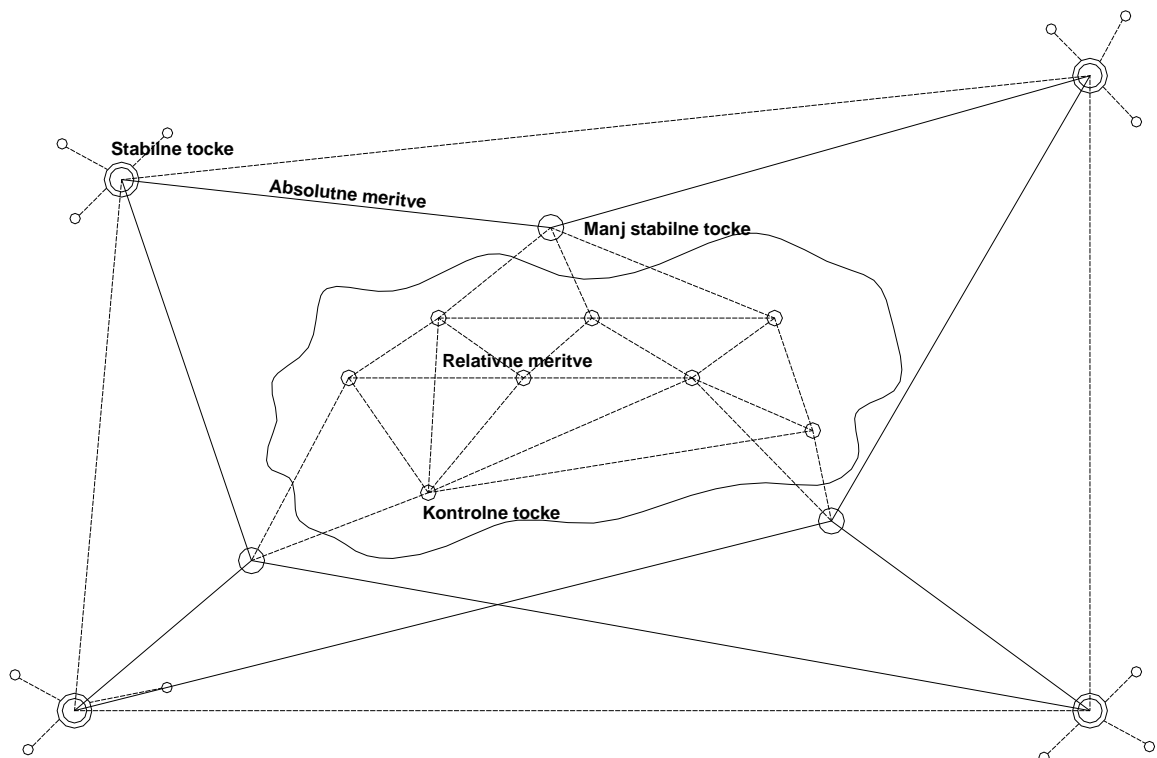
Slika 4-51: Primeri registriranih merjenih parametrov (gladina, pronicanje, posedki krone)

Termometri	161
Merilci napetosti	486
Merilci obtežbe	50
Merilci stikov	58
Merilci deformacij	16

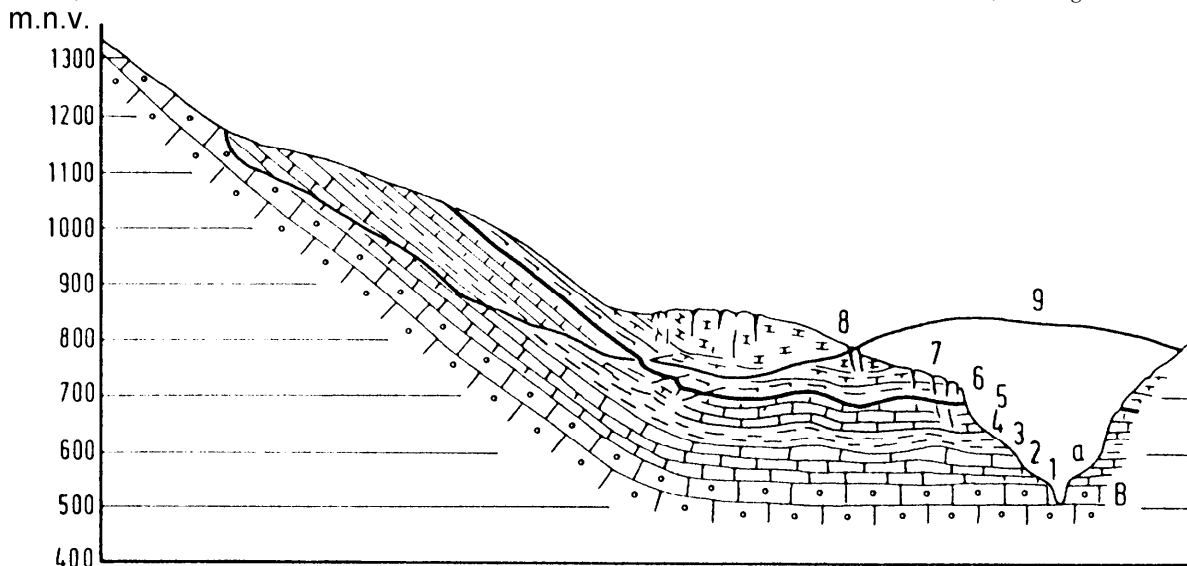


OPOMBA: Merilci stikov in deformacij temeljev niso prikazani

Slika 4-52: Primer opremljenosti ločne pregrade (višine 300 m) z merskimi instrumenti (Karadj-Iran)

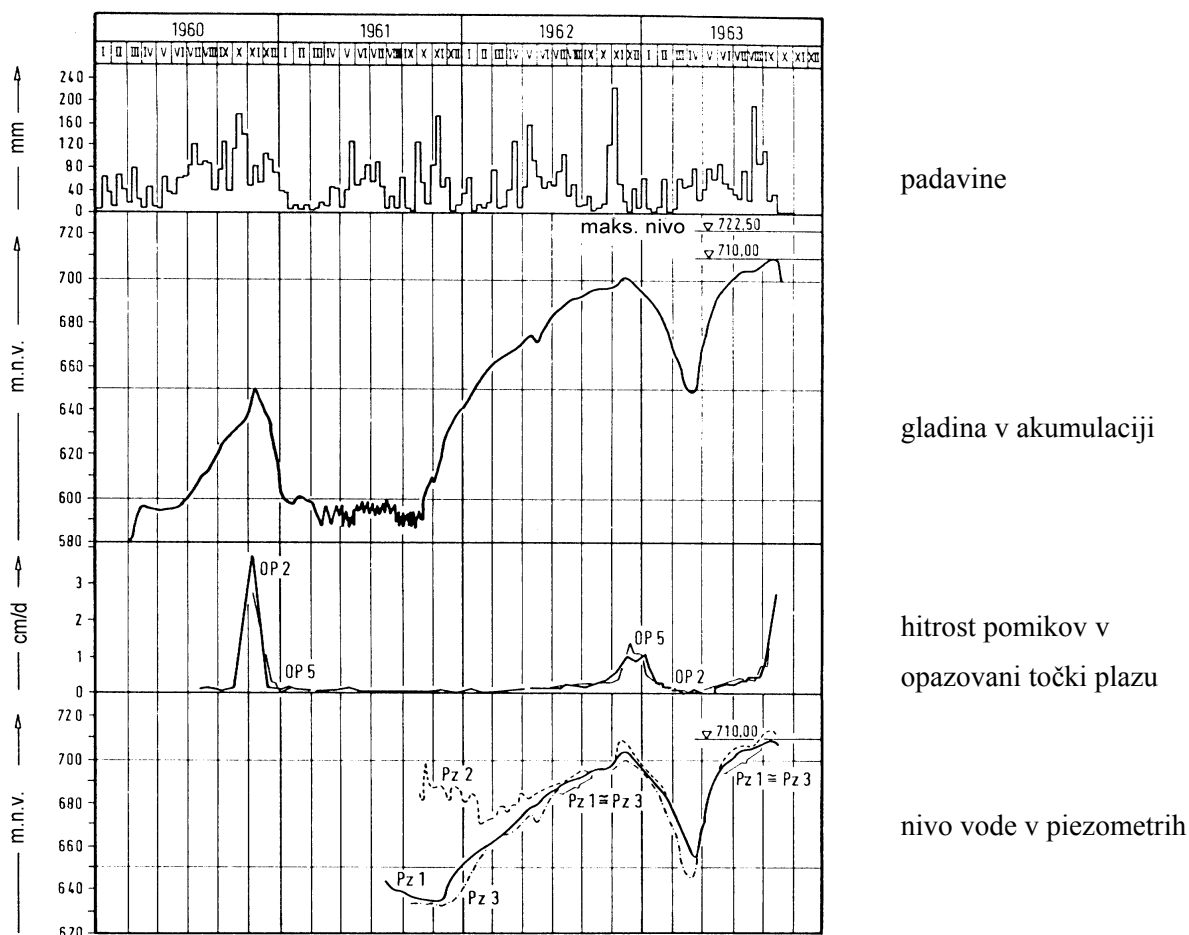


Slika 4-53: Mreža (večnivojskih) geodetskih opazovalnih točk



Slika 4-54: Prečni prerez plasti in drsine (Nad plastjo apnenca (B) so kredne plasti iz različnih obdobj (1-8), iz katerih je tudi drsina. Linija (9) prikazuje površino po zdrsu.)

Razen pregrade je treba opazovati tudi okolico. Znan je primer pregrade Vaiont, Italija, kjer je bil vzrok za nesrečo zdrs nestabilne brežine v akumulacijo. Poplavni val, ki ga je zemeljski plaz povzročil je bil visok 110m. Za posledicami nesreče je umrlo cca. 2000 ljudi. Sama pregrada se pri dogodku ni porušila.



Slika 4-55: Opazovanje pregrade Vaiont

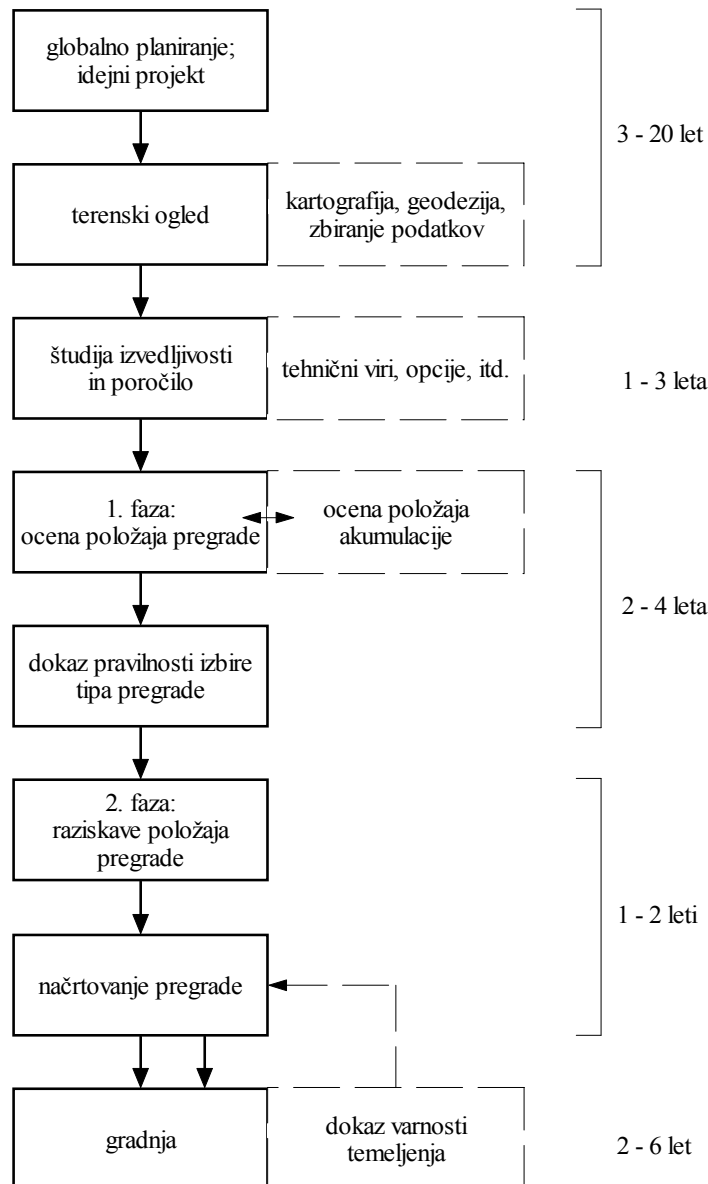
## 5. Izbor lokacije in vrste akumulacije ter tipa pregrade

V sklopu predmeta Hidrotehnika bomo obravnavali le izbor lokacije in vrste pregrade glede na zadane cilje ter izbor ustrezne vrste pregrade. Določitev smotnosti izgradnje pregrade je mnogo zahtevnejša naloga, saj na podlagi strokovnih mnenj temeljijo tudi politične odločitve. Za preglednost projekta je v tem procesu potrebno analizirati več variant in za vsako od njih narediti tudi analizo stroškov in koristi. Pri sprejemanju odločitev se je potrebno zavedati tudi omejitev te metode.

Lociranje pregrade je zahtevna naloga, pri kateri je potrebno upoštevati:

- optimalno delovanje funkcij pregrade (energetska izraba, izboljšanje vodnega režima, namakalne potrebe, potrebe po pitni vodi, rekreacijska uporabnost...), natančneje v predmetu vodne moči,
- geološke značilnosti lokacije in mikrolokacije pregrade,
- vpliv pregrade na okolje,
- vpliv pregrade na ljudi in že zgrajeno infrastrukturo.

Osnovne stopnje pri gradnji pregrade prikazuje algoritem:



Slika 5-1: Algoritem procesov pri izgradnji pregrade

Zadovoljujoča lokacija rezervoarja mora zadostiti določene funkcionalne in tehnične zahteve. Funkcionalno primernost lokacije običajno izrazimo kot razmerje med naravnimi fizikalnimi karakteristikami in namenom akumulacije. Hidrologija povodja, razpoložljiva višina in volumen akumulacije že določajo obratovne parametre projekta, ki ga načrtujemo. Tehnično primernost narekuje prisotnost ustrezne lokacije (ali lokacij) pregrade, materialov za gradnjo in ustrezna vodotesnost kamnin.

Hidrološke in geološke oz. geotehnične karakteristike so prevladujoče pri presoji tehnične primernosti lokacije za akumulacijo. Tem moramo pridati še oceno vpliva na okolje zaradi gradnje in obratovanja akumulacije. V fazi zbiranja podatkov, ki lahko traja daljše časovno obdobje, je osnovni cilj zbiranje ustreznih topografskih, geoloških in hidroloških podatkov. V študiji izvedljivosti naredimo interpretacije in zaključke na podlagi vseh dostopnih podatkov. Na podlagi teh naredimo več primerjalnih, variantnih, rešitev in ekonomsko presajo vsake od njih. Na podlagi te študije se odločamo za poglobljeno delo na določeni(h) varianti(ah), kar vključuje tudi dodatne, natančnejše preiskave primernosti posameznih lokacij.

Nadaljnje raziskave morajo potrditi primernost akumulacije glede na zahtevano vodotesnost. Te raziskave so še posebej pomembne na težavnih območjih, kot so kraška območja in območja rudarskih aktivnosti. V naslednji fazi izvajamo poglobljene raziskave na specializiranih področjih: določamo velikost akumulacije glede na kritična potencialno ogrožena dolvodna območja, dostopnost materialov za gradnjo, poglobljene hidrološke študije...

## 5.1 Ocena lokacije pregrade

Primernost vrste pregrade predvidene v postopku načrtovanja akumulacije mora biti dodatno preverjena. Izpeljati je potrebno obširne preiskave, da dokažemo, da je mogoče izvesti pregrado v predvidenem obsegu za sprejemljivo ceno. Lastnosti zemljine in kamnin na lokaciji so kritičnega pomena pri načrtovanju pregrade in zato morajo biti njihove geološke in geotehnične karakteristike izdatno preverjene. Poleg tega moramo oceniti tudi njihovo uporabnost kot vir gradbenega materiala.

V primeru težavne lokacije je lahko program za oceno lokacije pregrade dolgotrajen in drag. Velikostni razred je od 1% do 5% (v izjemnih primerih) končne vrednosti pregrade. Obseg preiskav je močno odvisen od razmer na posamezni lokaciji.

## 5.2 Izbor vrste pregrade

Optimalno vrsto pregrade za posamezno lokacijo izberemo glede na tehnično primernost in stroške. V nekaterih primerih je izbor zelo omejen zaradi tehničnih zahtev in je tako izbor vrste pregrade poenostavljen. Včasih pa na podlagi tehničnih omejitev dobimo več rešitev in se potem odločimo na podlagi ekonomske presoje.

Štirje glavni parametri vplivajo na odločitev o izbiri vrste pregrade:

- *Hidravlični gradient*: nominalna vrednost hidravličnega gradienta, ( $i$ ), za pronicanje pod pregrado se spreminja najmanj za velikostni razred glede na vrsto pregrade. Hidravlični gradient variira od 0.5 za homogene zemeljske pregrade do 10 v primeru ločnih pregrad. Sposobnost mehkejših in slabših temeljnih tal, da prenašajo večje gradiente, je omejena.
- *Napetosti v temelju pregrade*: načrtovane napetosti, ki jih pregrada prenaša na temeljna tla, se močno razlikujejo glede na vrsto pregrade (Preglednica 1):

**Preglednica 5-1: Projektne vrednosti napetosti**

Vrsta pregrade	Načrtovane napetosti (MNm <sup>-2</sup> )
zemeljske	1.8 - 2.1
težnostne	3.2 - 4.0
steberske	5.5 - 7.5
ločne	7.5 - 10.0



- *Deformabilnost temeljnih tal:* nekatere vrste pregrad bolje prenašajo tudi nekoliko večje deformacije temeljnih tal brez večjih poškodb.
- *Temeljni izkop:* ekonomska presoja narekuje, da je volumen izkopa kar najmanjši.



Slika 5-1: Primer težnostne pregrade



Slika 5-1: Primer težnostne pregrade (zračna stran pregrade završnica)<sup>1</sup>



Slika 5-3: Zemeljska pregrada Trnava z vtočnim objektom<sup>2</sup>



Slika 5-4: Detajl obloge na gorvodni strani zemeljske pregrade Trnava<sup>3</sup>



Slika 5-5: Ločna pregrada Moste<sup>4</sup>



Slika 5-6: Steberska pregrada Sloy<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Vir: <http://images.google.si>

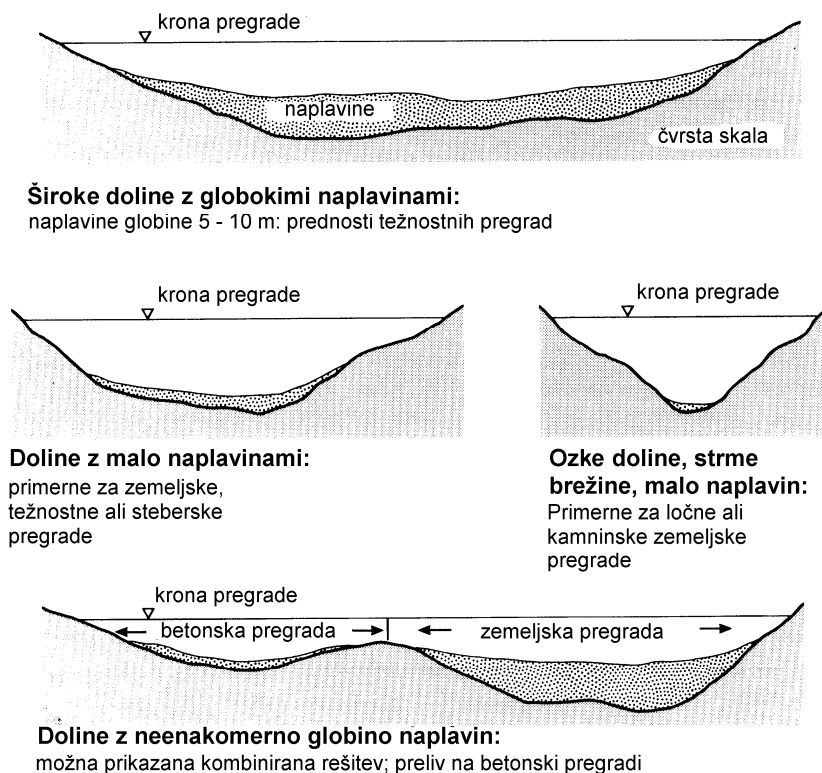
<sup>2</sup> Vir: <http://slocold.ibe.si>

<sup>3</sup> Vir: <http://slocold.ibe.si>

<sup>4</sup> Vir: [www.sl.wikipedia.org/wiki/HE](http://www.sl.wikipedia.org/wiki/HE)

<sup>5</sup> Vir: <http://users.tkk.fi/~jvilen/>

Te glavne parametre je potrebno obravnavati skupaj za doseganje optimalnih rešitev. Slika kaže karakteristične primere uporabnosti posameznih vrst pregrad glede na obliko doline in debelino naplavin:



Slika 5-2: Uporabnost posameznih vrst pregrad glede na obliko doline in debelino plavin

Za izbiro vrste pregrade globalno veljajo smernice, podane v naslednji preglednici.

**Preglednica 5-2: Usmeritve za izbiro vrste pregrade**

Vrsta pregrade	Karakteristike
<i>Zemeljske</i>	
zemljinske	Primerne za kamnita ali zemeljska temeljna tla, prenašajo omejene diferenčne posedke zaradi relativno širokega in plastičnega jedra, potrebne ločitve-ne plasti, nizki pritiski na temeljna tla, potrebno veliko različnega materiala.
kamninske	Primernejša za kamnita temeljna tla različne kvalitete, lahko delno preperena, potrebne so številne ločitvene plasti, relativno nezahtevno vgrajevanje, potrebno veliko različnega materiala.
<i>Betonske</i>	
težnostne	Primerne za široke doline, izkop je plitvejši, od 5-10 m, delno preperena skala je sprejemljiva, preveriti geološke diskontinuitete, nizki kontaktni pritiski, porabimo precej cementa.
steberske	Podobno kot težnostne, višje kontaktne napetosti zahtevajo trdno skalo, prihranek cementa v primerjavi s težnostnimi je 40 - 60%.
ločne	Primerne za ozke soteske, enotna čvrsta skala velike trdnosti in majhnih deformacij temeljev in brežin. Velika obtežba na brežine, prihranek cementa v primerjavi s težnostnimi je 50 -85%.

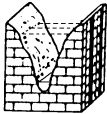

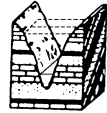
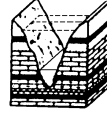
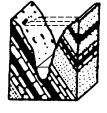
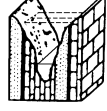
Ostali dejavniki, ki lahko vplivajo na izbor vrste pregrade so lahko: seizmičnost, možnost evakuacije vode v času gradnje, hitrost gradnje, možnost poplavljanja v času gradnje, omejitev človeških kapacitet in okoljski dejavniki.

**Preglednica 5-3: Povezava med posameznimi tipi dolinskih pregrad in topologijo**

Vrsta pregrade	Oblika doline / potrebna temeljna tla	Oblika pregrade
težnostne pregrade	v splošnem ni posebnih zahtev	prečni prerez: trikoten z dodano krono pregrade
prednapete težnostne pregrade	kompaktna temeljna tla	prečni prerez enak kot pri težnostnih pregradah, vendar z manjšim volumnom, sidrana v temeljna tla
ukrivljene težnostne pregrade	vzporedni bregovi doline, visoka trdnost bregov	manjši volumen pregrade, izkoriščanje ločnega efekta
ločne pregrade	visoka trdnost bregov doline, enakomerna kvaliteta temeljnih tal; U-doline: cilindrične pregrade, V- doline: enakokotne pregrade	tankostenska betonska lupina, ukrivljena
dvojno zakrivljene ločne pregrade (kupolaste)	strme doline, V-doline z omejeno nosilnostjo brežin	različne oblike kupolaste tankostenske lupine (kupolaste, hiperbolične)
steberske pregrade	ne prestreme brežine, tektonsko aktivna področja	Enojni stebri, dvojni stebri, odprti medprostorji
olajšane težnostne pregrade, steberske ločne pregrade, Ambursenove pregrade	zelo široke doline, različna temeljna tla	Stebri različnih oblik s čelnimi glavami ali vmesnimi stenami različnih oblik

V nadaljevanju bodo podani različni prikazi vpliva geologije lokacije na predvideno gradnjo. Pri tem obilica primerov nakazuje, kako različne so lahko geološke razmere.

**Preglednica 5-4: Slojevite plasti kamnin**

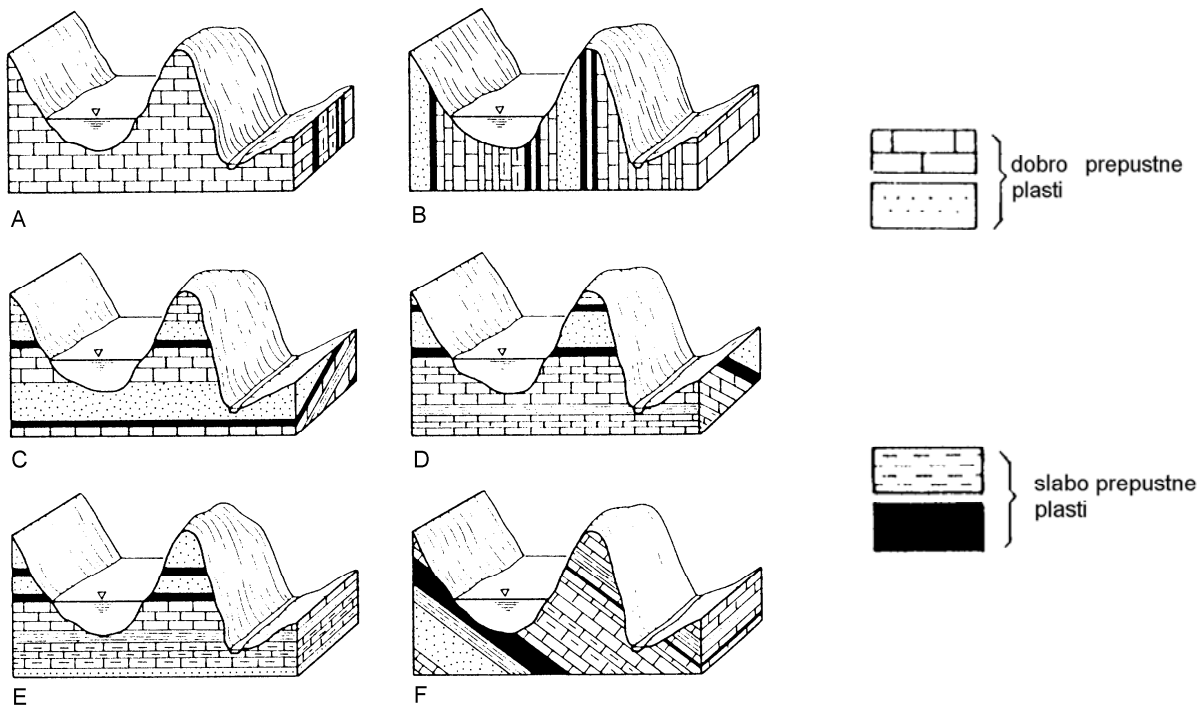
	Predstavitev: Pogled z zračne strani na pregrado	Inženirska presoja		
		Pronicanje	Stabilnost	Stabilnost brežin
Plasti vzporedne z osjo pregrade		manjše	zelo ugodno	
		manjše	načeloma ugodno vendarle zdris možen	
		večje	glede na padec plasti, ugodneje pri strmih plasteh	
		srednje	ugodna, če ni glinasto skrivilavih plasti	lahko zelo neugodno pri strmih brežinah
Plasti pod kotom glede na os pregrade		večje	različna	
		večje	različna	



**Preglednica 5-5: Zgubane plasti kamnin**

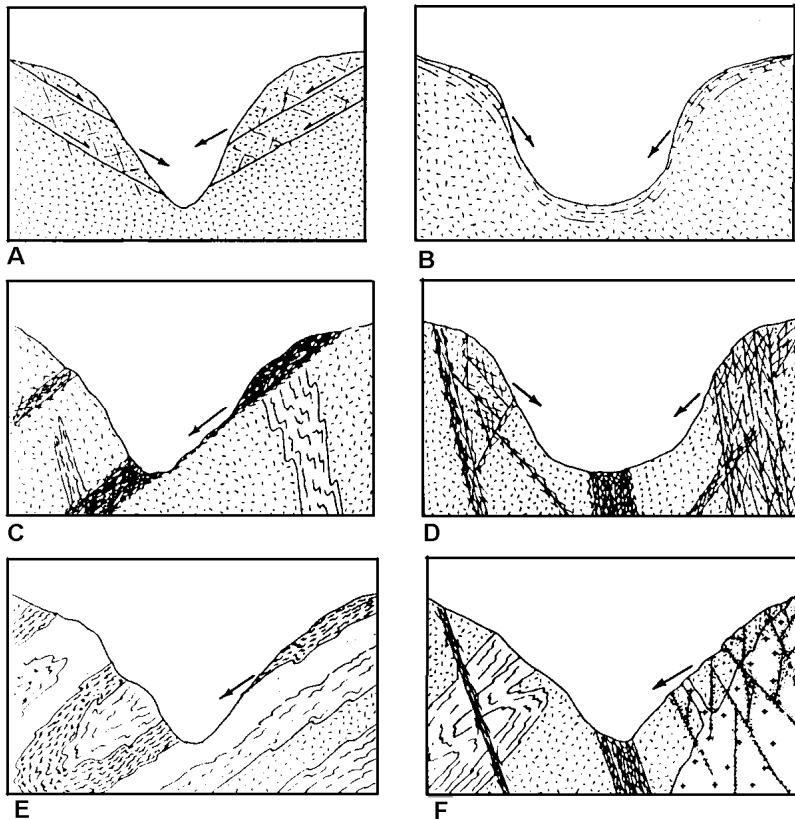
Predstavitev:		Inženirska presoja		
		Pronicanje	Stabilnost	Stabilnost brežin
gubanje vzporedno		manjše	Obvezna kontrola na strig plasti	
z osjo pregrade		večje	Problematična stabilnost pregrade	
gubanje pravokotno		večje		ugodna
na os pregrade		srednje		zelo neugodna

Poleg lokalnih geoloških formacij pomembnih za stabilnost pregrade je potrebno preveriti tudi stabilnost podpornih hribin akumulacije. Slika 3 nam prikazuje vpliv različnih možnih geoloških formacij na stabilnost in pronicanje v sosednjo dolino.



Slika 5-3: Vpliv položaja plasti na pronicanje v sosednjo dolino. (a) neugodno, (b) ugodno, (c) neugodno, (d) neugodno, (e) neugodno, (f) nevarno

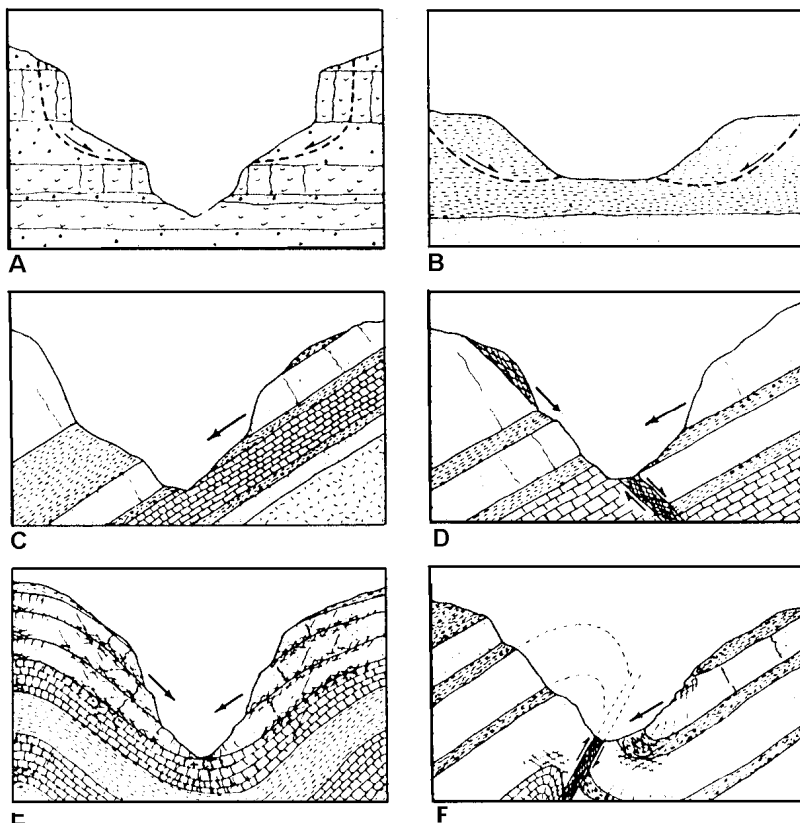
Primer pregrade Vaiont nas opozarja, da moramo enako pozornost kot smo jo posvetili stabilnosti pregrade posvetiti tudi stabilnosti brežin (lokacije pregrade in akumulacije).



Puščice prikazujejo možne zdrse.

- A) proti dolini orientirane zdrsne ravnine,
- B) razpoke vzporedno z brežino,
- C) nestabilna območja lokalnih motenj na brežinah,
- D) zmanjšana stabilnost zaradi razpok v masivu pri ledeniških dolinah,
- E) sljudaste plasti kot potencialne drsne ravnine,
- F) močno razpokana, metamorfna skala poleg magmatskih slojev.

Slika 5-4: Nestabilne brežine v magmatskih in metamorfnih kamninah

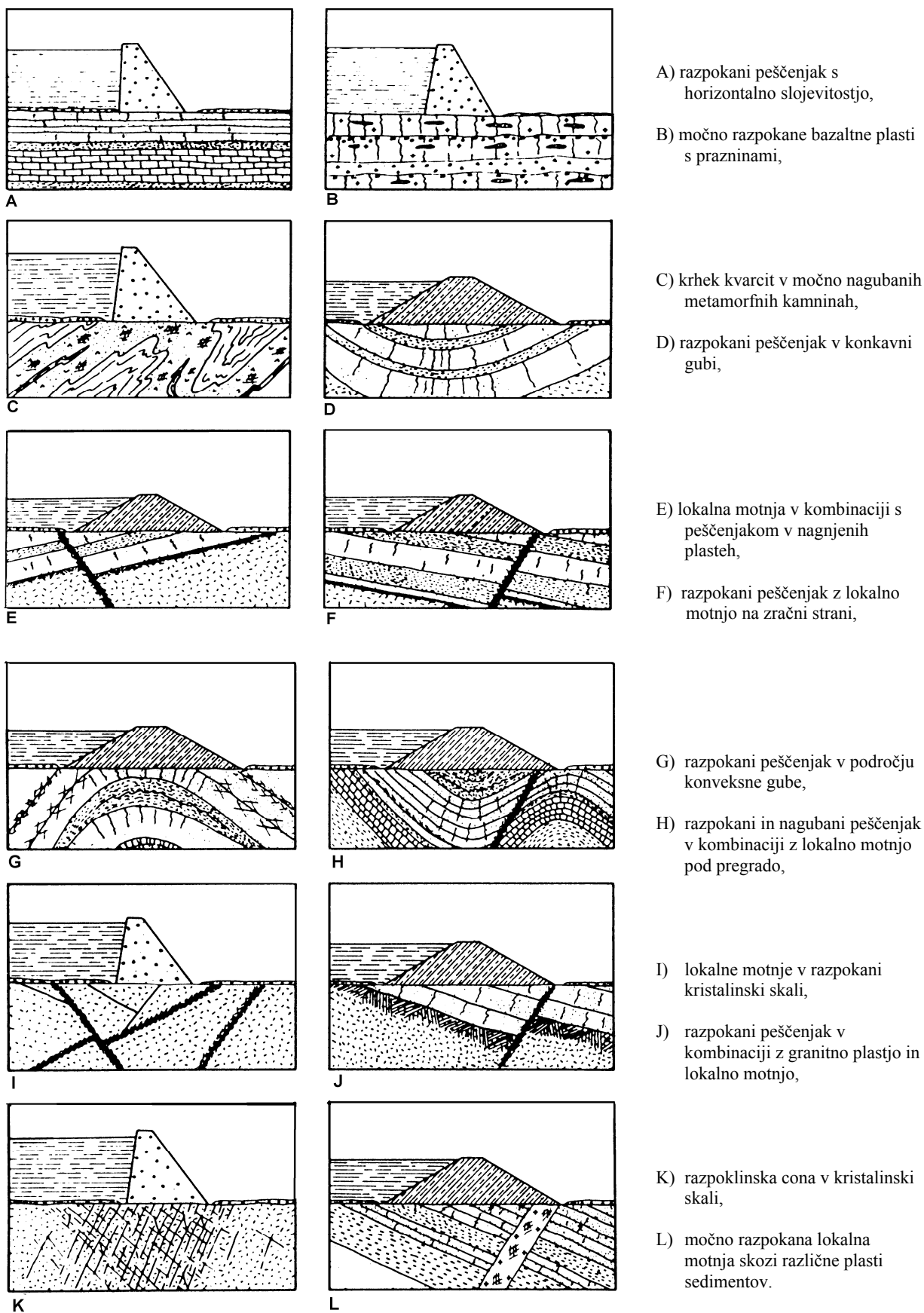


Puščice prikazujejo možne zdrse.

- A) izmenično odlaganje bazaltnih plasti in vulkanskega pepela,
- B) horizontalni ilovnati skladi,
- C) nestabilne sedimentne plasti v dolini z nagnjen plastovitostjo,
- D) nestabilnost zaradi lokalnih motenj,
- E) zdrs slabo vezanih plasti v tektonsko gubo - dolino,
- F) možnost zdrsa zaradi gubanja plasti.

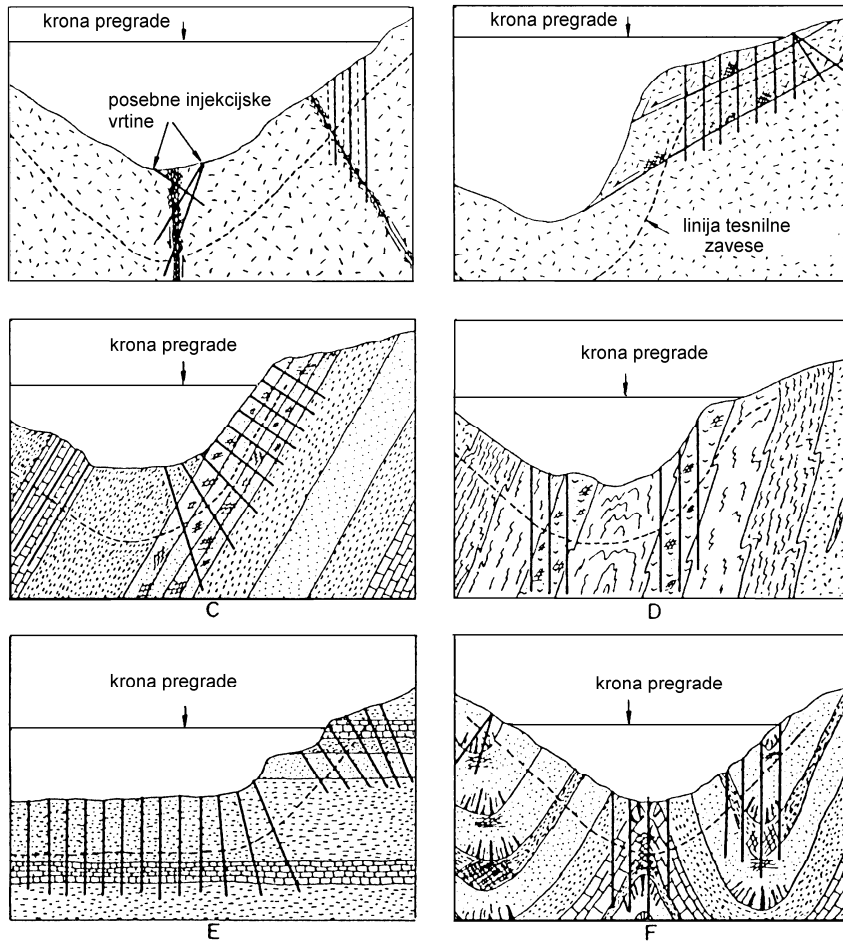
Slika 5-5: Nestabilne brežine v sedimentnih kamninah

Poleg stabilnosti pogojuje razporeditev geoloških plasti tudi na pronicanje pod pregrado. Vsaka lokacija ima svoje posebnosti. Nekaj možnih poti pronicanja skozi geološke sloje je prikazanih na naslednji sliki.



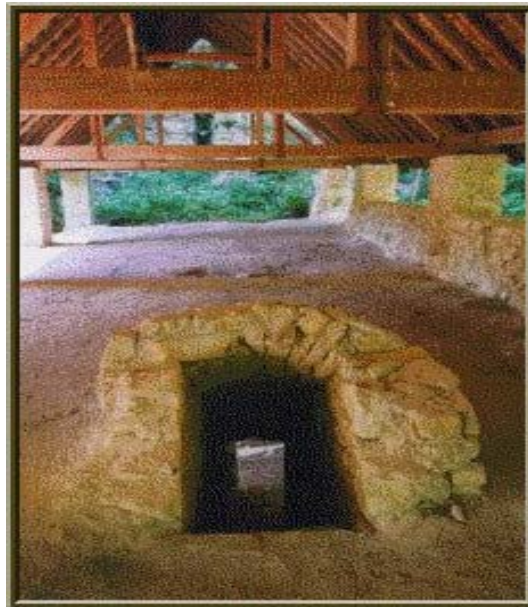
Slika 5-6: Shematični prečni prerezi skozi pregrado z različnimi potencialnimi potmi pronicanja pod pregrado

V primeru, da se zaradi drugih dejavnikov odločimo za gradnjo na geološko manj stabilnih ali bolj prepustnih tleh, izvedemo ojačitveno in tesnilno injektiranje (poglavje 4.2). Primere izvedbe ojačitvenega in tesnilnega injektiranja v različnih geoloških situacijah prikazuje slika 5-7.



- A) vrtnice pod kotom za dodatno tesnenje razpoklinske cone in poglobljene vrtnice za tesnenje lokalne motnje v brežini,
- B) poglobljene injekcijske vrtnice do prepustne plasti v potencialni drsni strme brežine iz razpokanega kristalinskega materiala,
- C) injekcijske vrtnice za stabilizacijo apnenčastih plasti,
- D) poglobljene injekcijske vrtnice v razpokane kvarcitrine plasti,
- E) poglobljene injekcijske vrtnice za zmanjšanje in opazovanje pronicanja skozi apnenčaste plasti,
- F) globoke injekcijske vrtnice za sondiranje razpokanih in nagubanih plasti.

Slika 5-7: Obseg in globina tesnilne injekcijske zavese glede na geološke razmere



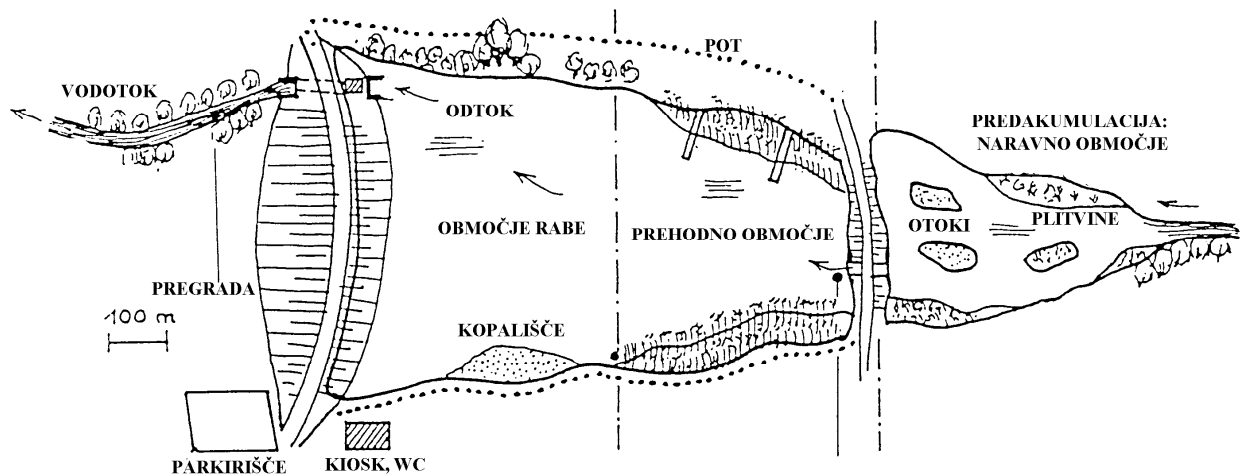
Slika 5-8: Krona pregrade Putrihove klavže z detajlom dostopa do temeljnega izpusta. Krona je dolga 44 m.<sup>6</sup>

<sup>6</sup> Vir: <http://slocold.ibe.si>

## 6. VPLIV PREGRAD NA OKOLJE

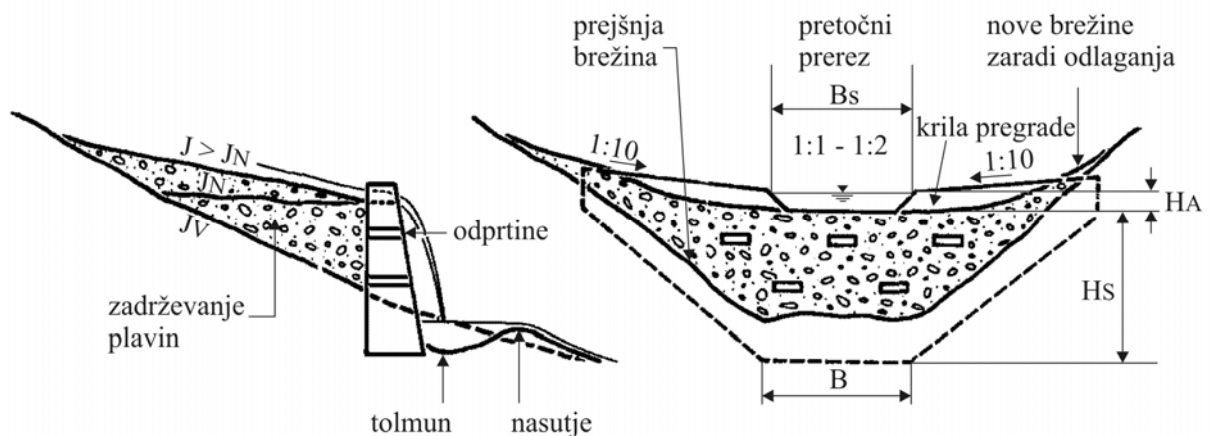
Za vsak večji poseg v okolje (torej tudi za pregrade in jezove) je potrebno izdelati tudi presojo vpliva objekta na okolje. Pri izdelavi te študije je nujno interaktivno sodelovanje strokovnjakov različnih disciplin. Cilj tega sodelovanja je minimizirati negativne vplive objektov na okolje, ter predvideti nadomestne ukrepe za zmanjšanje negativnih vplivov. Vsak posamezni projekt je potrebno ovrednotiti tudi z drugimi presojami, kot so globalno gospodarjenje z naravnimi viri, (kar vključuje tudi varčevanje z energijo, uporaba obnovljivih energijskih virov, ipd.) s stališča narodnega gospodarstva, idr. Pri snovanju optimalnega posega je poleg strokovnjakov nujno potrebno čimprej vključiti sodelovanje laične javnosti, še posebej pa lokalnega prebivalstva, saj bo objekt trajno vključen v njihovo okolje.

V nadaljevanju opisani postopki presoje vpliva na okolje so sicer namenjeni zlasti za presojo vpliva pregrad in jezov na okolje, lahko pa jih v širšem smislu uporabljamo kot smernice tudi pri gradnji ostalih hidrotehničnih objektov in/ali tudi pri ostalih večjih inženirskih posegih v okolje.

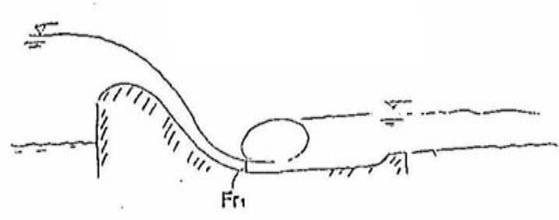
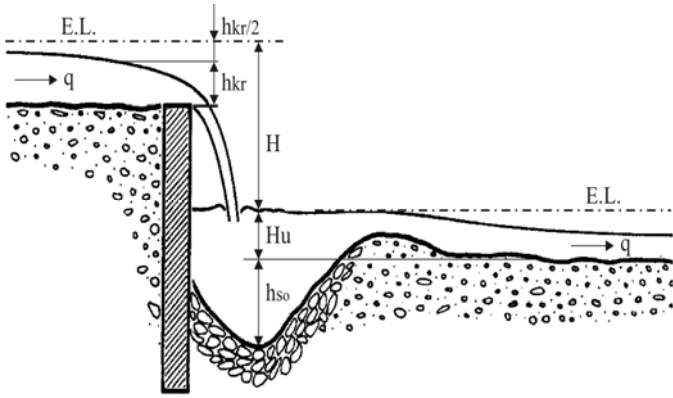


Slika 6-1: Ureditev območij različne rabe v akumulaciji

Zaradi varovanja prostornine akumulacije je treba z gradbenimi in negradbenimi ukrepi urejati povirja in zmanjševati transport sedimentov v hudourniku.

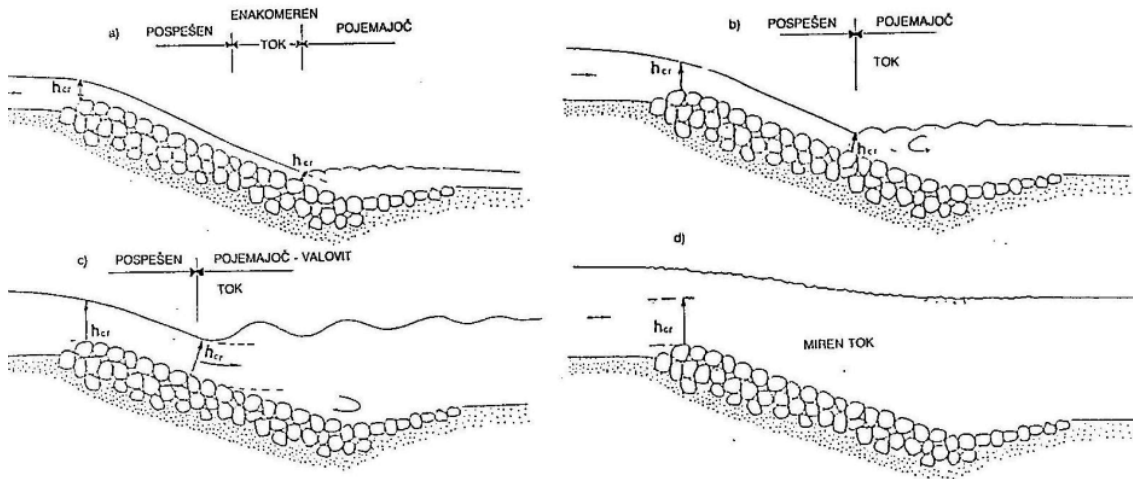


Slika 6-2: Hudourniška (zadrževalna) pregrada

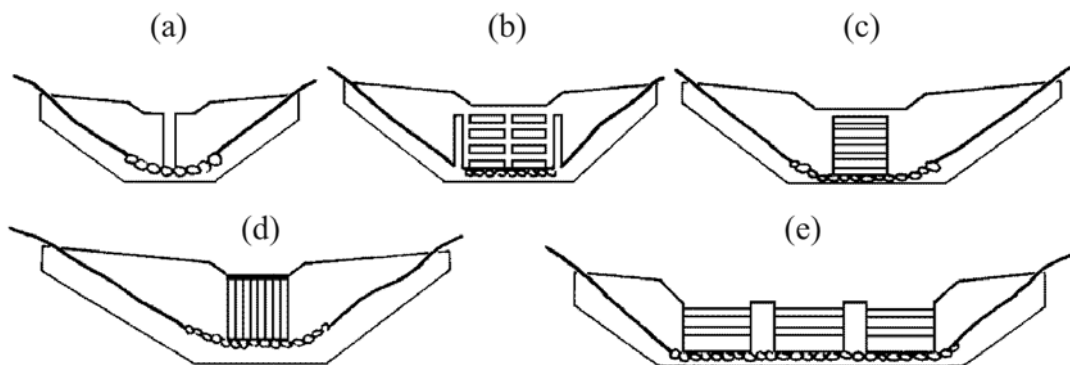


Slika 6-3: Tolmun pod pregrado – potrebna zadostna globina temeljenja!

Slika 6-4: Klasično podslapje



Slika 6-5: Različni tipi tokov



Slika 6-5: Vrste prebiralnih pregrad



Slika 6-6: Pregradi na Bistričici

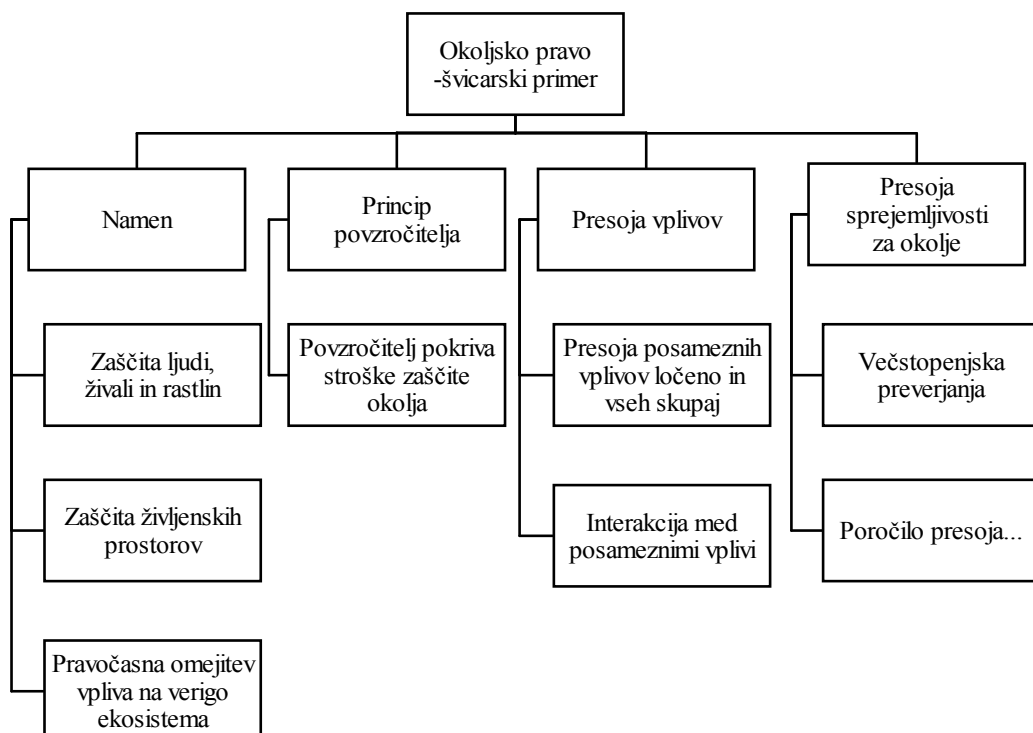


Slika 6-7: Prebiralna pregrada na hudourniku

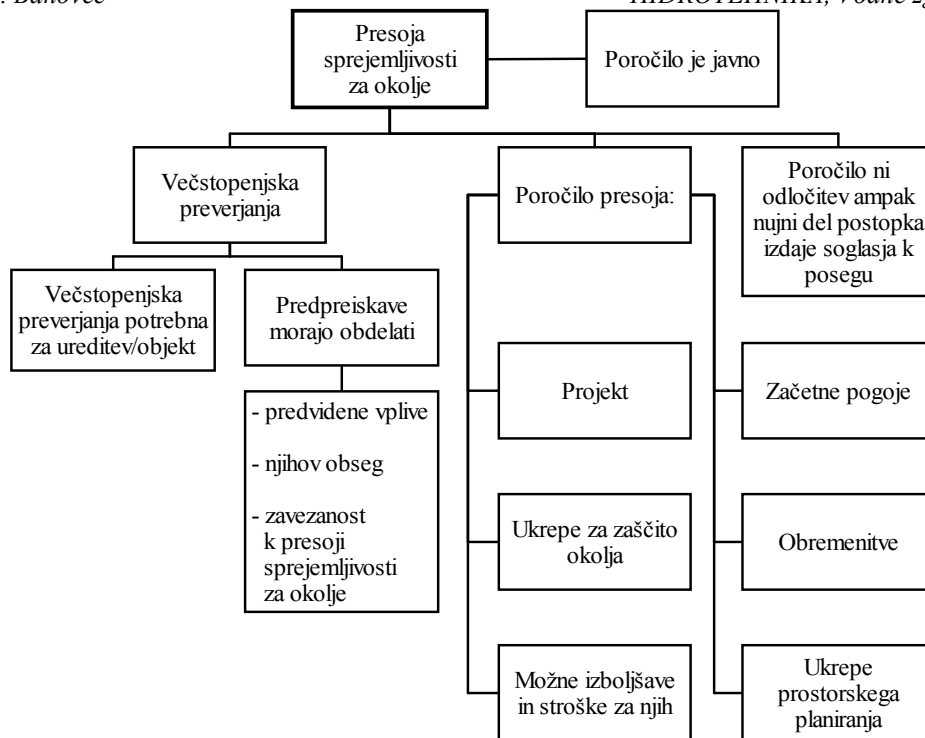
## 6.1 Postopek presoje vpliva na okolje

V Sloveniji, tako kot v mnogih drugih državah, še nimamo dodelanega zaključenega sistema za presojo vpliva posameznega objekta na okolje čeprav ga Zakon o varstvu okolja predpisuje. V praksi pa so študije za presojo vplivov objekta na okolje že bile narejene (primer HE Mavčiče ipd.).

Kot primer si oglejmo shemo, ki prikazuje sistem zaščite okolja in vsebino, ki jo vsebujejo presoje sprejemljivosti posega v okolje v Švici:



Slika 6-8: Prikaz pristopa švicarskega pravnega sistema do problematike okolja



Slika 6-9: Shematični prikaz elementov presoje sprejemljivosti objekta za okolje (švicarski primer)

Pri izvedbi projekta je potrebno preveriti cilje, ki jih bomo s projektom uresničevali tudi iz okoljskega stališča (izboljšanje energetske oskrbe, zmanjšanje uporabe fosilnih goriv, stabilnost vira...). Za elektriko iz hidroelektrarn lahko tako npr. povzamemo naslednje pozitivne lastnosti:

- neizčrpen vir (obnovljiv),
- ni izgorevanja (ni emisij v zrak),
- domači vir,
- cenovno ugodna (odvisno od primernosti lokacije),
- učinkovita (pokrivanje konic porabe - možnost shranjevanja energije v črpalnih elektrarnah),
- dolgoročna preskrba.

Vplive pregrade na okolje lahko delimo na:

- vplivi v času gradnje,
- vplivi tekom obratovanja,
- vplivi po obratovanju.

## 6.2 Presoja vplivov na okolje

### Nekateri parametri

- **Zrak in mikroklima**

V splošnem delujejo pregrade, katerih osnovna funkcija je proizvodnja električne energije pozitivno na kvaliteto zraka in mikroklimo, saj npr. pri proizvodnji energije ne oddajajo CO<sub>2</sub> ali SO<sub>2</sub>. Gradbena mehanizacija ima sicer negativen vpliv na okolje v času gradnje, ki pa je časovno omejen in ga je zato potrebno upoštevati le v primeru posebno občutljivih lokacij. Sprememba mikroklimo zaradi povečane vlažnosti in posledičen pojav megle je mogoč, vendar le v primeru akumulacij z večjo površino.

- **Hrup, vibracije, transport materiala**

Hrup in vibracije, kakor tudi transport materiala so omejeni zlasti na čas gradnje. V primeru gradnje pregrade v neposredni bližini naselja je potrebno analizirati te učinke in predvideti protiukrepe. Za transport materiala je potrebno analizirati tudi sposobnost obstoječe transportne mreže. Večina transportov (odvisno od tipa pregrade) se običajno odvija znotraj gradbišča.



- **Površinske vode**

- **Transport sedimentov**

Tok sedimentov (rinjene in delno lebdeče plavine) je z gradnjo pregrade prekinjen ali vsaj močno oviran. Obdelava tega problema je močno odvisna od režima in količine plavin, velikosti akumulacije, kvalitete vode, stabilnosti struge pod pregrado... Zaradi prekinjenega toka sedimentov je potencialna transportna sposobnost vodotoka pod pregrado večja od razpoložljive količine sedimentov in zato se ob ostalih nespremenjenih pogojih pojavlja dolvodno poglabljanje struge in vsi negativni učinki vezani na to (propadanje brežin, znižanje podtalnice...).

Pri projektu je potrebno predvideti hitrost polnjenja akumulacije in eventuelne ukrepe (čiščenje akumulacije, izpiranje akumulacije, dodajanje sedimentov na odseku pod pregrado...). Transport sedimentov lahko predstavlja enega ključnih problemov pri projektiranju pregrade.

- **Kvaliteta vode**

Zastajanje vode v akumulacijah načeloma ne poslabša kvalitete vode, običajno pa so težave s snovmi v sedimentih. Možni so negativni učinki v času gradnje, predvsem zaradi blatenja vodotoka.

- **Odpadne vode**

S stališča kvalitete vode so možni negativni učinki v primeru zajezebe onesnaženih vodotokov. Zaradi zadrževanja vode v akumulaciji je lahko kvaliteta vode pod pregrado lahko sicer izboljšana, vendar se v sami akumulaciji pojavi povečana zarast alg ali celo anaerobne razmere v nižjih slojih. Običajen ukrep v takih primerih je gradnja čistilnih naprav v naseljih gorvodno od pregrade oziroma predhodna sanacija kakovosti vodotoka.

- **Podtalnica**

V območju aluvialnih naplavin se zaradi dviga nivoja vode v akumulaciji zviša tudi nivo talne vode, pod pregrado pa nivo običajno upade pod prejšnji nivo. Spremembe nivoja podtalnice imajo lahko močne učinke na vodooskrbo, poljedelstvo in režim manjših vodotokov. Ti učinki so lahko tudi pozitivni. Če pričakujemo (ugodno) infiltracijo vode iz bazena v podtalnico, je potrebno predvideti tudi učinke zablatenja akumulacije in s tem povezano zmanjšanje infiltracije.

- **Biosfera**

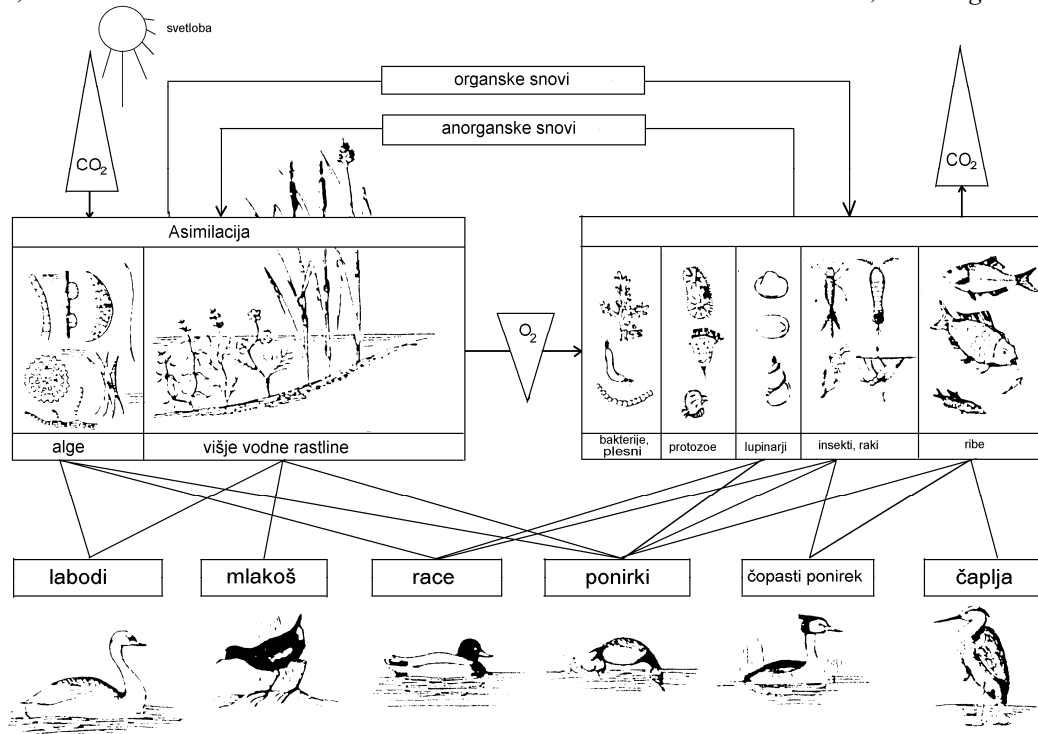
V splošnem biosfero težko obravnavamo kot vsoto posameznih, ločenih delov, saj je močno medsebojno povezana. Med najpomembnejšimi kriteriji za kvaliteto biosfere je pestrost vrst, saj so v bioloških "puščavah" sposobne preživeti le specializirane vrste. Pri opazovanju biosfere se ne smemo omejiti na opazovanje višjih vrst, temveč moramo opazovati celotno prehrambeno verigo.

- **Vegetacija**

Z akumulacijo vsekakor prizadenemo obstoječe vrste in vzpostavimo nov tip vegetacije glede na obliko in namembnost obale. Odločilen kriterij pri akumulacijah je običajno močno nihanje gladine (tudi za več metrov). Glede na namen praznitve akumulacije je običajno tudi frekvenca tega nihanja prevelika, da bi se pojavila trajnejša zarast na brežinah. Vegetacija na ostalih delih (nasipi, zemeljska pregrada...) je namenjena vklapljanju posega (objekta) v okolje.

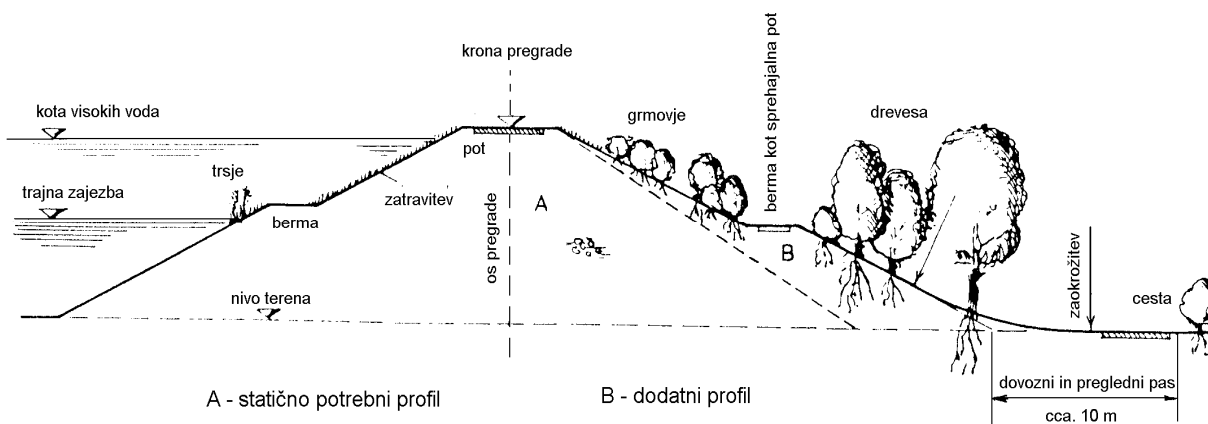
- **Živalstvo**

Pod živalstvo moramo razumeti tako živali, ki živijo v vodah, kot tudi obvodne živali. Zaradi spremenjene vegetacije se spremeni tudi biotop in živali, ki so prisotne v njem. Posebej je v primeru posega potrebno obravnavati zaščitene živalske vrste, katerih bivanje ne sme biti ogroženo. Zahteve po zaščiti so lahko izredno omejujoče za investitorja in zato je včasih najustreznejša rešitev izgradnja nadomestnega biotopa, včasih celo na popolnoma drugi lokaciji.

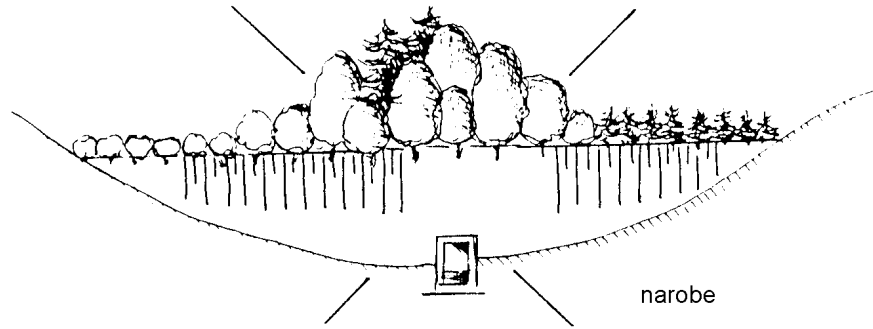


Slika 6-10: Shema prikazuje odnose v akvatični biosferi kot celoti

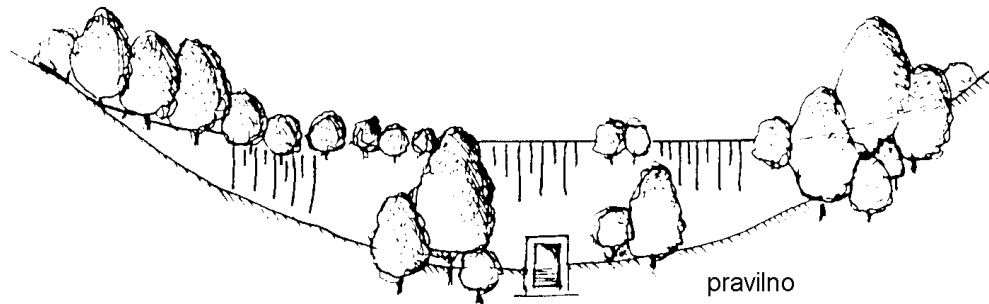
- **Tla**  
Zlasti kot posledica dviga podtalnice je na prizadetem območju mogoča sprememba kvalitete poljedelskih površin. Posledice je potrebno predvideti, jih omiliti, in jih nato z opazovalnim programom iz vrednotiti ter izvesti sanacijske ukrepe. Pomembno je upoštevati tudi izgubo dela potopljenih rodovitnih tal kot izgubo nacionalnega bogastva. Akumulacija pa ima lahko širše gledano tudi pozitivne učinke na poljedelstvo, saj omogoča namakanje in zaščito pred poplavami.
- **Zaščitena območja**  
V zaščiteneh območjih je gradnja pregrad prepovedana.
- **Krajinska podoba**  
Izgled krajine se po tako velikem posegu kot je pregrada ali jez občutno spremeni. Namesto "naravnega" vodotoka se pojavi v krajini umirjeno zaježeno jezero z umetnimi objekti: pregrada, odjemna mesta, kanali, strojnica HE, daljnovodi... Če je poseg v območje dovoljen pod posebnimi pogoji, je potrebno vse neugodne učinke kar se le da omejiti. To dosežemo z vkopavanjem izstopajočih objektov in ozelenitvijo izpostavljenih površin.



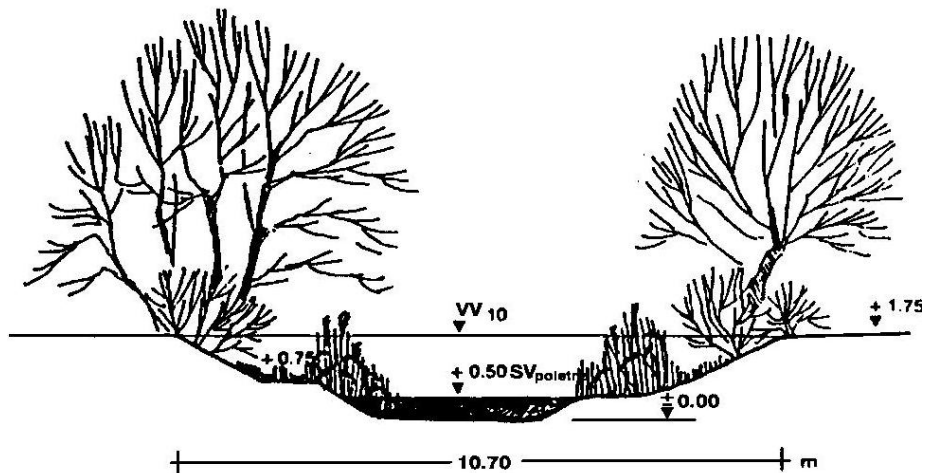
Slika 6-11: Ureditev dodatnega telesa zemeljske pregrade za zmanjšanje negativnega učinka na podobo krajine



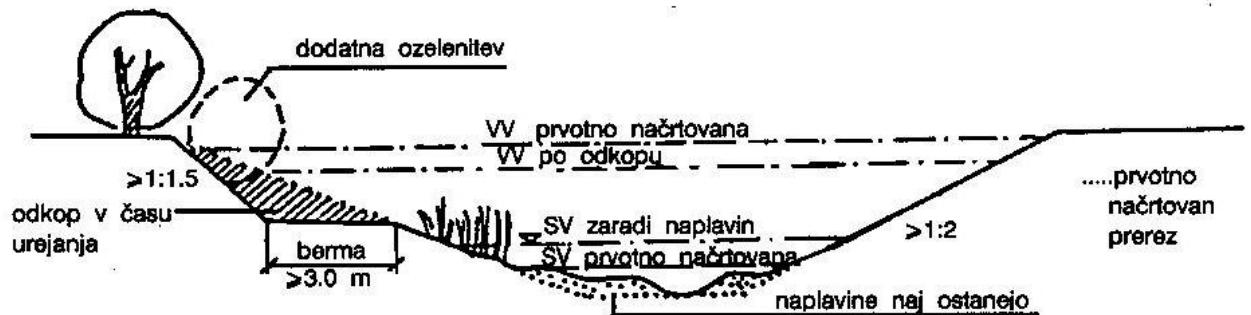
Slika 6-12: Prikaz nepravilne ureditve ozelenitve zemeljske pregrade



Slika 6-13: Prikaz pravilne ureditve ozelenitve zemeljske pregrade



Slika 6-14: Prikaz ozelenitve zemeljske pregrade



Slika 6-15: Prikaz ozelenitve zemeljske pregrade

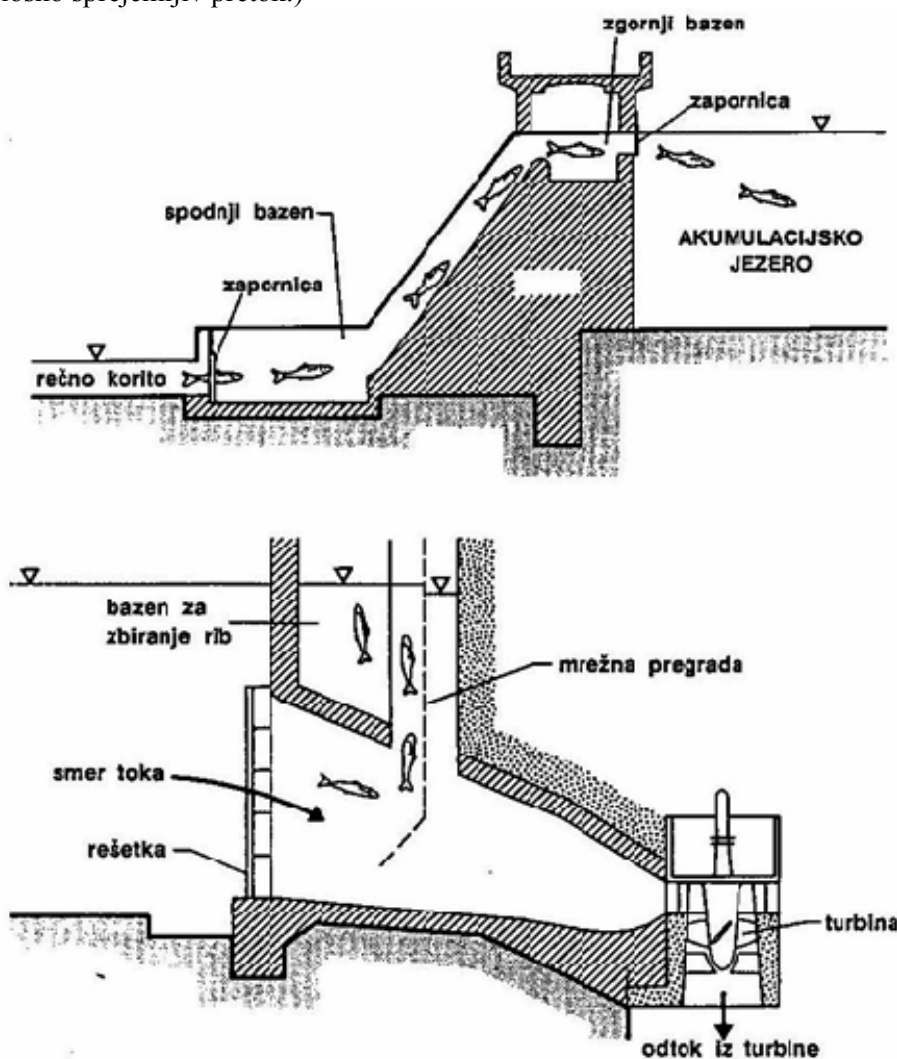
Negativne učinke lahko omilimo tudi z vzpostavitvijo nadomestnih krajinskih elementov. Pridobljena potencialna rekreativna vrednost se pri ocenjevanju vpliva objekta na krajino ocenjuje le posredno.

#### • Ribišтво

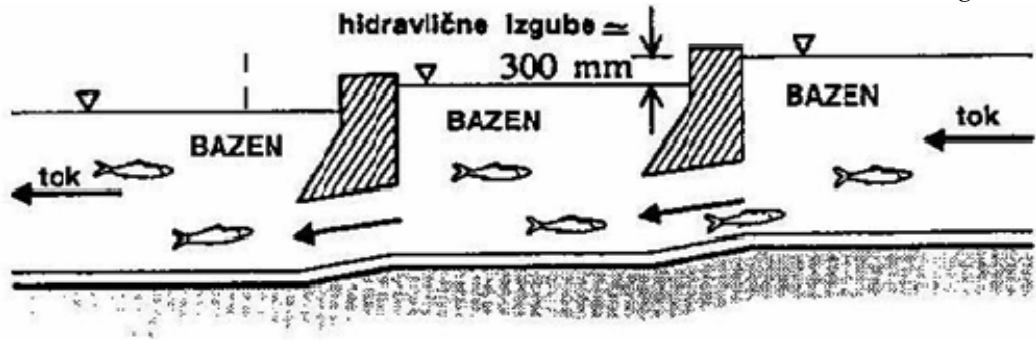
Akumulacija na mestu, kjer je bil pred tem vodotok, bistveno spremeni življenjske pogoje ribam in zato redno pride do spremembe sestave ribjih vrst. Običajno se salmonidne vrste umaknejo vrstam, ki so prilagojene počasnejšemu toku, višjim temperaturam in drugačnemu načinu prehranjevanja.

Dovodni rovi in kanali so običajno preveč gladki, da bi omogočili razvoj ribjih vrst. Izjema so odprti dovodni kanali, projektirani tako, da z načrtnim oblikovanjem plitvin omogočimo razvoj rib. Vhod v turbine je zaščiten z rešetko, ki večjim ribam preprečuje dostop do turbin. Manjše ribe prehoda skozi turbine običajno ne prežive.

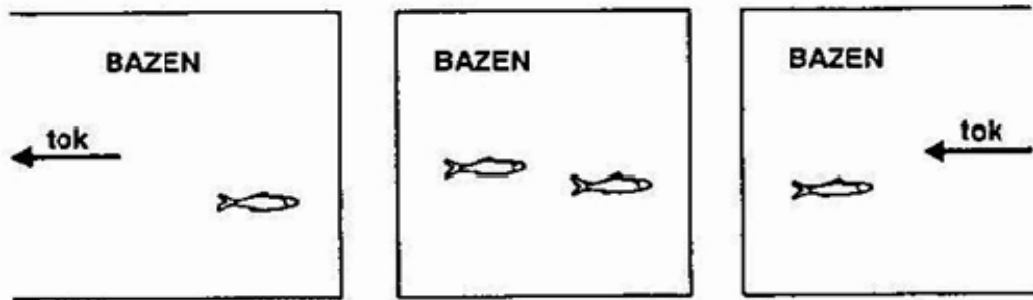
V primeru pregrad ali jezov, ki preusmerjajo del vodnega toka uporabniku, je potrebno v stari strugi vodotoka vzdrževati tako velik pretok, da omogoča obstoj tipičnega biotopa. (Ta količina se imenuje  $Q_{ES}$ -ekološko sprejemljiv pretok.)



Slika 6-16: Nekaj primerov ribjih stez



Slika 6-17: Odsekoma spreminjajoča gladina



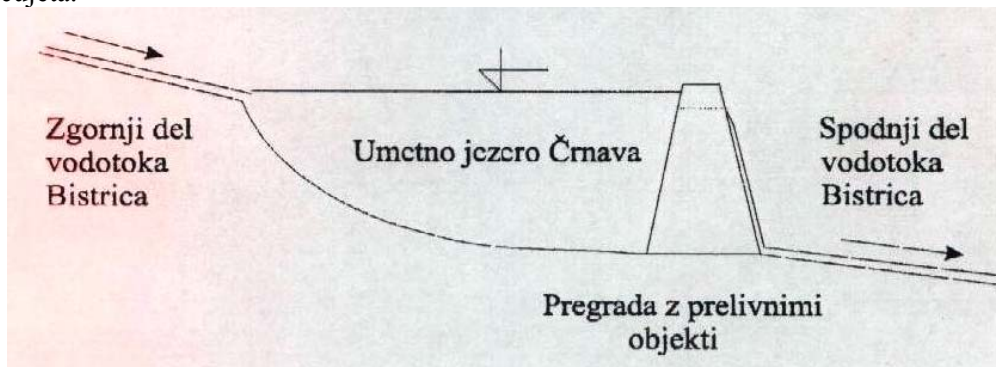
Slika 6-18: Tloris bazena z ribami

- **Gozdarstvo**

Gozdna površina, ki jo z akumulacijo potopimo, je s stališča gozdarstva izgubljena. Vendar lahko pri gradnji hidroelektrarn upoštevamo tudi zmanjšanje emisij  $\text{SO}_2$ , kar predstavlja globalno pozitivni učinek. Izgubljene gozdne površine lahko tudi nadomestimo s pogozdovanjem novih površin. Dodaten negativen učinek potopljenih (gozdnih) površin predstavlja sproščanje metana iz potopljenih organskih snovi, ki razpadajo v akumulaciji, če ni bila odstranjena vsa vegetacija. Metan razpade v atmosferi v  $\text{CO}_2$ , kar negativno vpliva na svetovno klimo. Količina tako sproščenega  $\text{CO}_2$  lahko v primeru akumulacij z veliko površino večkrat presega količino  $\text{CO}_2$ , ki bi jo sicer oddajala v okolje enako močna termoelektrarna.

- **Rekreacija**

S spremembo okolja se spremeni tudi vrsta rekreativnih dejavnosti, ki jih lahko opravljamo na določenem odseku. Ocena vrednosti posameznih dejavnosti je subjektivne narave, lahko pa iz vrednotimo število potencialnih udeležencev posamezne vrste rekreacije. Ker je ob velikem gradbenem projektu enostavneje vključiti še rekreacijski in turistični razvoj lokacije so vplivi novih objektov na rekreacijske dejavnosti načeloma ugodni. Pri razvoju pa je potrebno ločiti prostore za rekreacijske dejavnosti od lokacij, ki so namenjene varstvu narave, saj se ti dve dejavnosti večinoma izključujeta.



Slika 6-13: Primer umetnega jezera, kjer se lahko odvijajo različne športne aktivnosti (plavanje, drsanje,...)

Kakor za samo gradnjo in stabilnost pregrade mora biti tudi za opazovanje okolja izdelan natančen program meritev stanja pred in po izgradnji ter sistem nadzora nad izvajalcem gradnje in upravljavcem objektov. Pri presoji vplivov posega pa moramo upoštevati razmere na celotnem

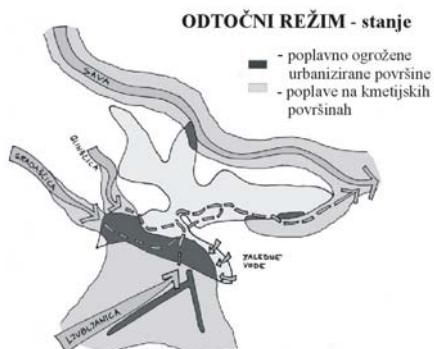
območju vplivanja - ti. "koncesioniran odsek", ki zajema vse ureditve od točke, kamor seže gorvodni vpliv (npr. zajezba), do dolvodne točke (npr. ponoven izpust dela rabljene vode v vodotok).

### 6.3 Urejanje medsebojnih razmerij med uporabniki

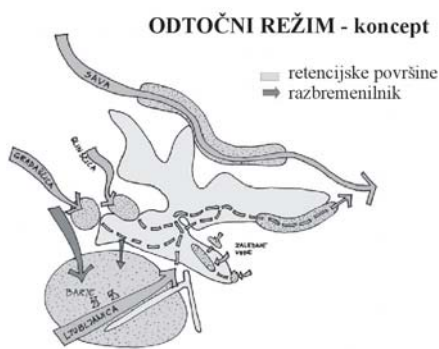
Izvedba objektov, naprav, ureditev ali uveljavitev omejitev in dolžnosti zahteva najprej urejanje medsebojnih razmerij med uporabniki prostora (v ožji in širši okolici).

#### Primer: urejanje odtočnih razmer - vsebina v prostorskem planu

Raba prostora bi načeloma morala biti usklajena z danostmi. Pogosto pa sanacija stanja na eni lokaciji zahteva spremembo stanja na drugi lokaciji.



Slika 6-14: Poplavne površine – stanje



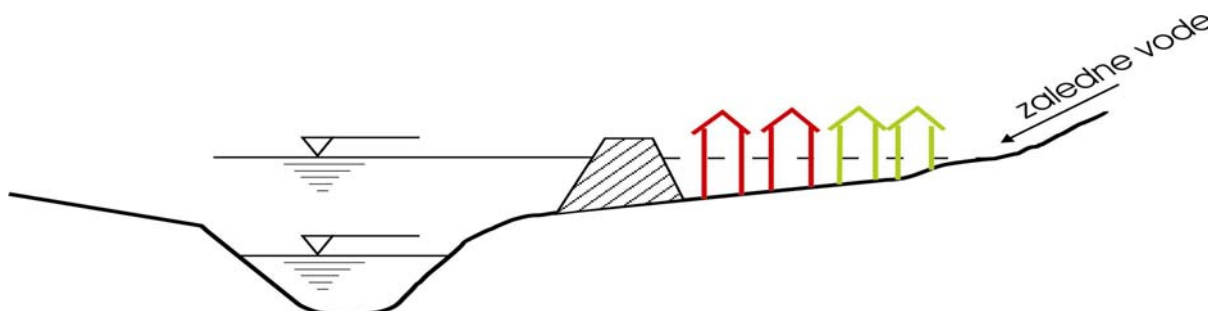
Slika 6-15: Zasnova protipoplavnih ukrepov



Slika 6-16: Vodne zgradbe-obrežno zavarovanje



Slika 6-17: Vodne zgradbe-obrežno zavarovanje



Slika 6-18: Protipoplavni nasipi v Celju

Na podlagi karte ogroženosti z visokimi vodami se predlagajo ureditve odtočnega režima s katerimi se zmanjša poplavna škoda.